Mod 17-0037P PDeb
Pierre DEBANO
19 rue des Champs de Linette
F 51200 EPERNAY
Gare SNCF + 1500 m
Mobile : + 33 (0)6 60 93 72 66
Mél : pdebano@laposte.net
https://fr.linkedin.com/in/pierre-debano-a2b62a123

Note numéro : 21-1252V1 **date : 16/09/2021**

Classification

Objet : Extraits avec traduction FR de „Machbarkeit eines Hybridoberleitungsbusbetriebs„Berlin-Spandau“02.07.2019 https://fragdenstaat.de/dokumente/3749/ Faisabilité d’une exploitation de trolleybus hybrides (trolleybus IMC à batteries) pour Berlin Spandau Doc originel chez P Debano :20-1061V PDeb Machbarkeit Batterie-OberleitungsbusBerlin-Spandau230120

Référence fichier	21-1252V1 PDeb Extraits Trad FR Machbarkeit Trolleybus Berlin
Affaire	86 h

Distribution

Protection du fichier : Ce fichier est protégé par un mot de passe pour éviter toute modification ayant pour conséquence que des fichiers de même nom aient des contenus différents.
Pour pouvoir modifier ce fichier : Faire "Enregistrer sous", aller dans Outils/Options de Sécurité en haut à droite de la fenêtre "Enregistrer sous" (en dessous pour Word 2010) et changer ou supprimer le mot de passe, et donner un autre nom au fichier pour l'enregistrer.

This study, made to green the operation of bus lines in the Berlin Spandau area, is very interesting:

- It compares operation with IMC trolleybuses with autonomy (running off overhead lines in battery electric mode), with battery-electric buses with night charging, and with battery-electric buses with opportunity charging; the hydrogen bus was not taken into account in the comparison,
- It provides a considerable amount of technical and financial data,
- It calculates the costs of each mode over its life cycle and for the offered place-km.

The conclusion, based in particular on the cost per offered place-kilometre, the only solution that takes into account the differences in the duration of life of the different equipments, shows an advantage for the IMC trolleybus solution over the other battery electric buses:

In the following, only the parts of the study that seemed most interesting for those who would want to do the same for other cities have been translated into French, unfortunately for you only in French. But the different tables can be usefull four English people because French terms are often near the English ones.

It would certainly be nice for the authors (michael.krail@isi.fraunhofer.de; petra.strauss@ptvgroup.com; sk@bahntechnik.de; arnd.stephan@tu-dresden.de) to know that their remarkable study has been useful to you.

No more English below.

Cette étude, faite pour verdir l'exploitation de lignes de bus dans la zone de Berlin Spandau, est très intéressante :

- Elle compare l'exploitation avec des trolleybus IMC avec autonomie (circulation hors des lignes aériennes en mode électrique grâce à des batteries) avec des bus électriques batteries avec charge de nuit, avec des bus électriques batteries avec charge occasionnelle (biberonnage) ; le bus à hydrogène n'a pas été pris en compte dans la comparaison,
- Elle fournit un nombre considérable de données techniques et financières,
- Elle calcule les coûts de chaque mode sur son cycle de vie et pour la place-km offerte.

La conclusion, basée notamment sur le coût de la place kilomètre offerte, seule solution permettant de prendre en compte les différences de durée de vie des différents équipements, montre un avantage à la solution trolleybus IMC face aux autres bus électriques à batteries :

207 Tabelle 6-26: Wesentliche Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
Tableau 6-26 : Principaux résultats de l'étude de faisabilité économique

	Einheit **Unité**	**Dieselbus** **Bus Diesel**	**Elektrobus (Depotlader)** **Bus électrique (charge au dépôt)**	**Elektrobus (Gelegen-heitslader)** **Bus électrique (charge occasionnelle**	**HObus Szenario A Trolleybus IMC Scénario A**	**HObus Szenario B Trolleybus IMC Scénario B**	**HObus Szenario C Reduziertes Netz Trolleybus IMC Scénario C Réseau réduit**
Fahrzeugbedarf **Besoins en véhicules**							
Anzahl Fahrzeuge Nombre de véhicules	Stück Pièce	187	223	205	187	187	129
Anzahl Solo-/Doppelstock-/Gelenk-/Doppelgelenkbusse Nombre std/étage/articulé/biarticulé	Stück Pièce	10/61/116/0	12/0/211/0	11/0/194/0	0/0/113/74	0/0/113/74	0/0/113/16
Neupreis Fahrzeuge (inkl. Batterie) nach Solo-/Doppelstock-/Gelenk-/Doppelgelenkbusse Prix neuf du véhicule (Y c batteries) std/étage/articulé/biarticulé	TEUR/Fahrzeug 1000 EUR/Véhicule	270/450/350/-	625/-/834/-	624/-/833/-	-/-/832/1272	-/-/832/1272	-/-/832/1272
Anteil Oberleitung **Proportion de ligne aérienne**							
Anteil Oberleitung Proportion de ligne aérienne	% (betr. Netzlänge) % (Longueur du réseau)				0,84	0,63	0,54

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

207

Tabelle 6-26: Wesentliche Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
Tableau 6-26 : Principaux résultats de l'étude de faisabilité économique (Suite)

	Einheit Unité	Dieselbus Bus Diesel	Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)	Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle	HObus Szenario A Trolleybus IMC Scénario A	HObus Szenario B Trolleybus IMC Scénario B	HObus Szenario C Reduziertes Netz Trolleybus IMC Scénario C Réseau réduit
Betriebliche Kenngrößen **Chiffres clés Exploitation**							
Anzahl Linien Nombre de lignes	Stück Pièce	14	14	14	14	14	9
Fahrleistung Offre	Mio. Fzg km/a Mio Véhic km/an	15,45	16,22	15,45	15,45	15,45	11,51
Platzkilometer Places kilomètres	Mio. Platz-km/a Mio places km/an	1.576	1.469	1.505	1.690	1.690	1.178
Investitionen **Investissements**							
Fahrzeuge inkl. Batterie Véhicules y compris batteries	TEUR/a 1000 EUR/an	70.750	183.474	168.466	188.144	188.144	114.368
Infrastruktur Infrastructure	TEUR/a 1000 EUR/an		13.962	30.000	137.100	121.328	95.412
Summe Total	TEUR/a 1000 EUR/an	70.750	197.436	198.466	325.244	309.472	209.780
Jährlich anfallende Kosten **Coûts annuels résultants**							
Unterhaltung Infrastruktur Entretien des infrastructures	TEUR/a 1000 EUR/an		145	444	1.146	995	762
Betriebskosten Coûts d'exploitation	TEUR/a 1000 EUR/an	35.631	35.607	34.861	34.281	34.281	24.045
Summe jährliche Kosten Total des coûts annuels	TEUR/a 1000 EUR/an	35.631	35.752	35.304	35.427	35.276	24.807
Jährliche Kosten je Platz-km coût annuel par place kilomètre	ct/Platz-km Cent/place km	2,261	2,424	2,316	2,028	2,028	2,040
Kenngrößen zur Wirtschaftlichkeit Chiffres clés de l'efficacité économique							
Kapitalwert (30a) Valeur actuelle nette (30 ans)	TEUR 1000 EUR	- 966.988	- 1.262.127	- 1.233.066	- 1.268.052	- 1.251.613	- 859.626
Annuität Annuité	TEUR/a 1000 EUR/an	- 43.058	- 56.201	- 54.907	- 56.464	- 55.732	- 38.278
Annuität je Platz-km Annuité par place kilomètre	ct/Platz-km Cent/place km	-2,732	-3,827	-3,648	-3,340	-3,297	-3,248

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

Dans ce qui suit, seules les parties de l'étude qui paraissaient les plus intéressantes pour qui aurait à faire la même démarche pour d'autres villes, on été traduite en français (NDT = Note du Traducteur). Merci de me signaler les erreurs de traduction.

Une précision : HObus Hybridoberleitungsbus : trolleybus avec autonomie batteries, celles-ci étant rechargées lors de la circulation sous les lignes aériennes. Ce type de trolleybus est appelé aussi trolleybus IMC (In Motion Charging), trolleybus hybride, trolleybus batteries, trolleybus NGT (Nouvelle Génération Trolleybus), trolleybus TNG (Trolleybus Nouvelle Génération), trolleybus 2.0, Super-trolleybus, Dynamic Charging trolleybus dénomination HESS, Trolleybus Charge Dynamique, et il y en a sans doute d'autres. Pour une meilleure compréhension, le terme HObus sera traduit par Trolleybus IMC, même si IMC est une marque déposé de l'électricien Kiepe qui communique beaucoup sur l'intérêt de cette solution (erik.lenz@kiepe.knorr-bremse.com).

Il serait sans doute agréable pour les auteurs (michael.krail@isi.fraunhofer.de; petra.strauss@ptvgroup.com; sk@bahntechnik.de; arnd.stephan@tu-dresden.de) se savoir que leur remarquablé étude vous a été utile.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

Page PDF	Texte analysé Analized text 20-1061V PDeb Machbarkeit Batterie-OberleitungsbusBerlin-Spandau230120	Traduction P Debano Traduit avec l'aide de www.DeepL.com/Translator (version gratuite) HObus = trolleybus IMC (In Motion Charging), dénommé aussi trolleybus avec autonomie batteries Pour le cas de charge occasionnelle (appelée Opportunity Charging en anglais) le terme biberonnage a été ajouté pour faciliter la compréhension.	Remarques P Debano
1	Fraunhofer ISI IFB PTV GROUP TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN Wissenschaftliche Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie **Machbarkeit eines Hybridoberleitungsbus-betriebs – „Berlin-Spandau"**		
1	**Fraunhofer-Institut für System- und Innovations-forschung (ISI)** Breslauer Str. 48 76139 Karlsruhe, Germany http://www.isi.fraunhofer.de Dr. Michael Krail Phone: +49 721 6809 429 Fax: +49 721 77 6809 135 michael.krail@isi.fraunhofer.de **PTV Transport Consult GmbH** Stumpfstr. 1 76131 Karlsruhe, Germany http://www.consult.ptvgroup.com Dipl.-Kauffrau Petra Strauß Phone: +49 721 9651 221 Fax: +49 721 9651 692 petra.strauss@ptvgroup.com **IFB Institut für Bahntechnik GmbH** Wiener Str. 114-116 01219 Dresden, Germany http://www.bahntechnik.de Dr.-Ing. Sven Körner Phone: +49 351 877 59 52 Fax: +49 351 877 59 90 sk@bahntechnik.de **Technische Universität Dresden** **Professur für Elektrische Bahnen** 01062 Dresden, Germany http://www.e-vs.de Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan Phone: +49 351 463 36 730 Fax: +49 351 463 36 829 arnd.stephan@tu-dresden.de © Fraunhofer ISI 2019 Karlsruhe, Dresden, 02. Juli 2019		

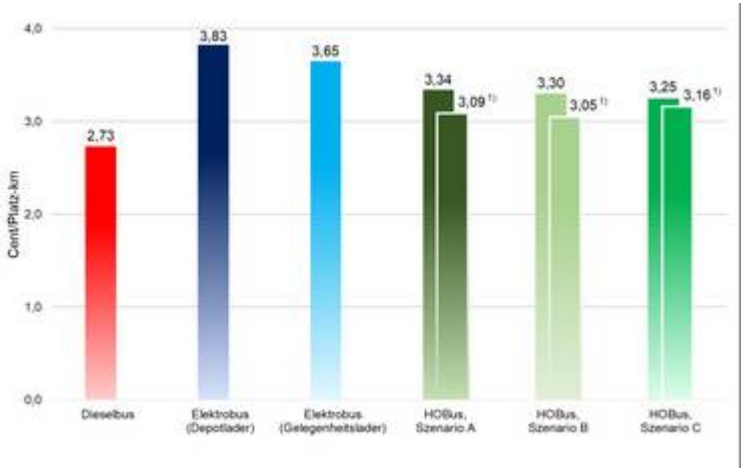
3	**Autorinnen und Autoren** **Fraunhofer ISI** Dr.-Ing. Michael Krail Dr. Till Gnann Dr.-Ing. Simon Funke **IFB Institut für Bahntechnik GmbH** Dr.-Ing. Sven Körner Dipl.-Ing. Eckert Fritz Dipl.-Ing. André Müller Dipl.-Ing. Holger Neumann Dipl.-Ing. Felix Bartels Dipl.-Ing. Martin Steude Dipl.-Ing. Maximilian Franke B.-Eng. Jens Elger Dipl.-Phys. Manja Balser Dr.-Ing. Jochen Hietzge **PTV Transport Consult GmbH** Dipl.-Kauffrau Petra Strauß Dipl.-Ing. Heike Schäuble M.Sc. Carola Hocke **TU Dresden – Professur für Elektrische Bahnen** Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan Richard Kayser MSc	**Auteurs** **Fraunhofer ISI** Dr.-Ing. Michael Krail Dr. Till Gnann Dr.-Ing. Simon Funke **IFB Institut für Bahntechnik GmbH** Dr.-Ing. Sven Körner Dipl.-Ing. Eckert Fritz Dipl.-Ing. André Müller Dipl.-Ing. Holger Neumann Dipl.-Ing. Felix Bartels Dipl.-Ing. Martin Steude Dipl.-Ing. Maximilian Franke B.-Eng. Jens Elger Dipl.-Phys. Manja Balser Dr.-Ing. Jochen Hietzge **PTV Transport Consult GmbH** Dipl.-Kauffrau Petra Strauß Dipl.-Ing. Heike Schäuble M.Sc. Carola Hocke **TU Dresden – Professur für Elektrische Bahnen** Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan Richard Kayser MSc	
4	0 | IFB+PTV | 02.07.2019 | Release		
4	Die Simulationswerkzeuge wurden in folgenden Versionen verwendet: - OpenPowerNet: 1.8.0 - OpenTrack: 1.9.1 (2018-05-10)	Les outils de simulation ont été utilisés dans les versions suivantes : - OpenPowerNet: 1.8.0 - OpenTrack: 1.9.1 (2018-05-10)	
15	**1 Zusammenfassung**	Résumé	

15	Der Hybridoberleitungsbus (HObus, **Streckenlader**) vereint die betriebserprobte und zu-verlässige Technik von konventionellen Oberleitungsbussen mit moderner Batteriespeichertechnologie. Er ermöglicht auf diese Weise einen **leistungsfähigen und verlässlichen Betrieb** ohne Einschränkungen, insbesondere für Linien mit hohem Passagieraufkommen und langen Umläufen. Durch den Einsatz eines Energiespeichers an Bord der Fahrzeuge können Abzweige, Kreuzungen oder Streckenabschnitte, wo eine Elektrifizierung aufwändig oder aus ästhetischen Gründen unerwünscht ist, fahrleitungsfrei ausgeführt werden. Dadurch werden Freiräume für eine stadtverträgliche und technisch flexible Gestaltung der elektrischen Netzinfrastruktur geschaffen. Zudem ergeben sich im Betrieb zusätzliche Freiheitsgrade, sodass beispielsweise Baustellen umfahren werden können. Die Möglichkeiten eines HObusnetzes wurden am Beispiel von Berlin Spandau untersucht. Spandau hat ein großes Omnibusnetz mit stark gebündelten Linien und dichten Takten. Die Fahrgastnachfrage ist hoch, erfordert damit hohe Kapazitäten und wächst kontinuierlich. Der Omnibusbetriebshof liegt in zentraler Lage. Die Voraussetzungen zum Aufbau eines HObusnetzes sind deshalb günstig. Für das untersuchte Netz mit einer Länge von ca. 235 km und 14 berücksichtigten Buslinien wurden für den Einsatz von bis zu **187 HObussen (Gelenk- und Doppelgelenkbusse)** verschiedene Szenarien für die Konfiguration der elektrischen Fahrzeuge mit Energiespeichern und die Ausgestaltung und Dimensionierung der elektrischen DC 750 V Netzinfra-struktur erarbeitet. Wesentliches Ergebnis der Studie ist, dass ein HObussystem für Spandau **technisch machbar und wirtschaftlich** ist. Basierend auf einem Szenario A, das als Ausgangsszenario einen hohen Fahrleitungsanteil hat, wurde ein Szenario B mit einem minimierten Fahrleitungsanteil iterativ entwickelt. In einem dritten Szenario C wurde die gemäß Berliner Nahverkehrsplan 2019-2023 und 12 1 ÖPNV-Bedarfsplan des Landes vorgesehene Implementierung einer Straßenbahn in Berlin-Spandau in Form eines reduzierten Betriebsprogramms für den HObus berücksichtigt.	Le trolleybus hybride (Trolleybus IMC, recharge en ligne) combine la technologie éprouvée et fiable des trolleybus classiques avec la technologie moderne de stockage d'électricité avec des batteries. Elle permet ainsi une exploitation efficace et fiable sans restrictions, notamment pour les lignes à fort trafic de passagers et à longues tournées. En utilisant un système de stockage d'énergie à bord des véhicules, il est possible de concevoir sans lignes aériennes des branches, des croisements ou des sections de ligne où l'électrification est coûteuse ou indésirable pour des raisons esthétiques.. Cela ouvre la voie à une conception de l'infrastructure du réseau électrique respectueuse de l'environnement et techniquement flexible. En outre, il existe des degrés de liberté supplémentaires dans l'exploitation, de sorte que, par exemple, les chantiers de construction peuvent être contournés. Les possibilités d'un réseau de trolleybus IMC ont été examinées à l'aide de l'exemple de Berlin Spandau. Spandau dispose d'un vaste réseau de bus avec des lignes avec beaucoup de troncs communs et des fréquences élevées. La demande en voyageurs est élevée, ce qui nécessite des capacités importantes et qui doit croître continuellement. Le dépôt de bus est situé dans la zone centrale. Les conditions pour le développement d'un réseau de trolleybus IMC sont donc favorables. Pour le réseau examiné d'une longueur d'environ 235 km et 14 lignes de bus considérées, différents scénarios d'utilisation de jusqu'à 187 troleybus IMC (articulés et biarticulés) ont été développés pour la configuration des véhicules électriques avec des dispositifs de stockage d'énergie et la conception et le dimensionnement de l'infrastructure du réseau électrique 750 V CC. Le principal résultat de l'étude est qu'un système de trolleybus IMC pour Spandau est techniquement réalisable et économique. Sur la base d'un scénario A, dont la part de lignes aériennes est élevée comme scénario initial, un scénario B avec une part de lignes aériennes minimisée a été élaboré de manière itérative. Dans un troisième scénario C, a été envisagé un programme d'exploitation réduit pour le trolleybus IMC du fait la mise en place d'un tramway à Berlin Spandau, tel que prévu par le plan de transport local de Berlin 2019-2023 et le plan 12 1 ÖPNV des besoins du Land,	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

16	Ein wesentliches Ergebnis der technischen Untersuchung ist, dass der notwendige **Fahr-leitungsanteil für die zur Realisierung empfohlenen Varianten zwischen 63% (Szenario B) und 54% (Szenario C)** der jeweiligen betrieblichen Netzlänge liegt. Die Investitionen in die Infrastruktur belaufen sich auf rund 121 Mio. € im Szenario B und 95 Mio. € im Sze-nario C.	Un résultat majeur de l'enquête technique est que la part nécessaire des lignes aériennes pour les variantes recommandées pour la mise en œuvre se situe entre 63% (scénario B) et 54% (scénario C) de la longueur opérationnelle respective du réseau. Les investissements dans l'infrastructure s'élèvent à environ 121 millions d'euros dans le scénario B et 95 millions d'euros dans le scénario C.	
16	Auf Basis der Ergebnisse der technischen Machbarkeit wurde eine Wirtschaftlichkeitsbe-trachtung durchgeführt. Hierzu wurden für die Szenarien des HObussystems die Investitionen und die laufenden Betriebskosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ermittelt. Diese wurden mit den Betriebskosten eines konventionellen Dieselbusbetriebs und anderer möglicher Elektrobus-Technologievarianten (Depotladung und Gelegenheitsladung an den Endstellen (Endstellenladung)) verglichen. Die dafür notwendigen wirtschaftlichen Kenngrößen für Dieselbusse sowie Depot- und Gelegenheitslader wurden von der BVG für diese Studie bereitgestellt. Im Vergleich der **Erstinvestitionen** (Summe aus Infrastruktur und Fahrzeuge) liegt der HObus (Gesamtnetz, Szenario B) mit rund 310 Mio. € etwa 50 % über denen des Depot- und Gelegenheitsladers (rund 200 Mio. €).	Sur la base des résultats de la faisabilité technique, une étude de faisabilité économique a été réalisée. À cette fin, les investissements et les coûts d'exploitation actuels ont été déterminés pour les scénarios du système Trolleybus IMC sur une période de 30 ans. Ceux-ci ont été comparés aux coûts d'exploitation d'un bus Diesel classique et d'autres variantes possibles de la technologie des bus électriques (recharge au dépôt et recharge occasionnelle aux terminus. Les données économiques nécessaires sur les bus et dépôts Diesel et la charge occasionnelle ont été fournies pour cette étude par la BVG (NDT l'expoitant des transports de Berlin). Si l'on compare les investissements initiaux (total des infrastructures et des véhicules), le trolleybus IMC (l'ensemble du réseau, scénario B), avec environ 310 millions d'euros, est environ 50 % plus élevé que les chargeurs en dépôt et occasionnel (biberonnage) (d'environ 200 millions d'euros).	Le surcoût de 50% parait très élevé, à voir dans la suite
16	Im Ergebnis der **Gesamtkostenbetrachtung**, d. h. der projektspezifischen Lebenszyklus-kostenrechnung (Investitionen und Betriebskosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren) sind die auf den **Platzkilometer bezogenen Annuitäten** (siehe Abbildung 1-1) der verschiedenen HObusszenarien in vergleichbarer Höhe und trotz höheren Erstinvestitionen niedriger als bei den Elektrobussen in der Ausführung als Depot- und Gelegenheits-lader (zwischen 10 % bis zu 20 %). Wesentliche Gründe dafür liegen im geringeren Fahr-zeugbedarf und einem geringeren Betriebsaufwand des HObusses, da durch das Nachla-den unter der Fahrleitung während der Fahrt keine zusätzlichen Ladezeiten an den Endstellen oder im Depot erforderlich sind. Zudem fallen bei den Depot- und Gelegenheitsladern wegen der größeren erforderlichen Batterien höhere Kosten beim Auswechseln an (Lebensdauer der Batterien: ca. 6 Jahre).	Il ressort de l'analyse du coût total, c'est-à-dire du calcul du coût du cycle de vie spécifique au projet (investissements et coûts d'exploitation sur une période de 30 ans), que les annuités liées au siège-kilomètre (voir figure 1-1) des différents scénarios de Trolleybus IMC sont de montants inférieurs à ceux des bus électriques à batterie avec charge en dépôt et occasionnelle (biberonnage) (entre 10 % et 20 %), malgré des investissements initiaux plus élevés, Les principales raisons en sont moins de véhicules nécessaires et des coûts d'exploitation moins élevés des Trolleybus IMC, puisque la recharge sous la ligne aérienne pendant le trajet ne nécessite pas de temps de charge supplémentaire dans les terminus ou dans le dépôt. En outre, la charge au dépôt et la charge occasionnelle (biberonnage) entraînent des coûts de remplacement plus élevés (NDT des véhicules) en raison des batteries plus grosses nécessaires (durée de vie des batteries : environ 6 ans).	Trolleybus au final 10% à 20% moins chers que bus électriques batteries sur 30 ans

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

16	Darüber hinaus ermöglicht das HObussystem den **Einsatz von Doppelgelenkbussen**, wodurch eine Beförderungsleistung erreicht werden kann, die vergleichbar ist mit einem Straßenbahnsystem. In der Machbarkeitsstudie und in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde der Einsatz von Doppelgelenkbussen auf einzelnen Linien für den HObus unterstellt..	En outre, le système Trolleybus IMC permet l'utilisation d'autobus à double articulation, qui peuvent atteindre une performance de transport comparable à celle d'un système de tramway. Dans l'étude de faisabilité et dans l'analyse économique, l'utilisation de bus à double articulation sur des lignes individuelles a été supposée pour le trolleybus IMC.	
17	Dadurch ergibt sich eine **niedrigere Annuität pro angebotenem Platz-km1** und eine **höhere Wirtschaftlichkeit**. Aus wirtschaftlicher Sicht ist der HObus damit für die untersuchte Verkehrsleistung im Betrachtungsgebiet gut geeignet und auch vor dem Hintergrund der höheren Erstinvestitionen langfristig eine Alternative zu anderen E-Bus-Technologien, mit dem zusätzlichen Vorteil der Implementierbarkeit von großen Gefäßen (z. B. Doppelgelenkbusse).	De cela, il en résulte une annuité plus faible par place-km offerte et une plus grande efficacité économique. D'un point de vue économique, le Trolleybus IMC est donc bien adapté à l'offre de transport étudiée dans la zone concernée et également, malgré des investissements initiaux plus élevés, il constitue à long terme une alternative aux autres technologies de bus électriques, avec l'avantage supplémentaire de la mise en œuvre de grands véhicules (par exemple des bus à double articulation).	
17	 Abbildung 1-1: spezifische Annuität in Cent / Platz-km 1 Die Berechnung der Platz-km für Doppelgelenkbusse erfolgte mit 130 Plätzen/Bus. Bei Annahme von 4 Personen/m² für die Stehplatzflächen des Fahrzeugs (analog zu den Gefäßgrößen der Vergleichsvarianten) ergibt sich eine Kapazität von 156 Personen für einen Doppelgelenkbus. Daraus resultieren spezifische Annuitäten für die HObus-Szenarien A/B/C von: 3,09 / 3,05 / 3,16 ct / Platz-km.	Figure 1-1 : Annuité spécifique en centimes / place-km 1 Le calcul des places-km pour les autobus à double articulation était basé sur 130 places par autobus. En supposant 4 personnes/m² pour les places debout dans le véhicule (comme pour les dimensions des Trolleybus IMC des variantes de comparaison), cela donne une capacité de 156 personnes pour un bus à double articulation. Cela se traduit par des annuités spécifiques pour les scénarios Trolleybus IMC A/B/C de : 3,09 / 3,05 / 3,16 ct / place-km.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

17	In der **ökologischen Bilanz** (..) Auch im Vergleich mit Depot- und Gelegenheitslader zeigt der HObus eine günstigere Bilanz (durch kleinere Batteriegrößen).	Bilan écologique (..) Egalement par rapport à la charge en dépôt et occasionnelle (biberonnage), le Trolleybus IMC présente également un bilan plus favorable (en raison de la taille réduite des batteries).	
18	Die Studie zeigt, dass der HObus einen wesentlichen Beitrag zum Klimaziel und zur Luft-reinhaltung leisten kann. Für den Einsatz in Berlin Spandau wurden die technische Machbarkeit und die langfristig erreichbare Wirtschaftlichkeit nachgewiesen. Es wird davon ausgegangen, dass die erzielten Erkenntnisse auf **weitere mögliche Einsatzgebiete unter vergleichbaren Rahmenbedingungen in Berlin** übertragen werden können und der HObus auch dort eine sinnvolle Alternative auf dem Weg zu einem lokal emissionsfreien ÖPNV in Berlin sein kann.	L'étude montre que le Trolleybus IMC peut apporter une contribution significative à l'objectif climatique et à la lutte contre la pollution atmosphérique. La faisabilité technique et l'efficacité économique à long terme du projet ont été prouvées pour le site de Berlin Spandau. On suppose que les résultats obtenus peuvent être transférés à d'autres domaines d'application possibles dans des conditions comparables à Berlin et que le Trolleybus IMC peut également y constituer une alternative judicieuse sur la voie d'un système de transport public local sans émissions à Berlin.	
19	**2 Aufgabenstellung, Zielsetzung und Vorgehen**	2 Mission, objectifs et procédure	
19	Der Obus-Verkehr mit rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen und zweipoliger Fahrleitung ist zwar seit rund 100 Jahren bewährt	La circulation des trolleybus avec des véhicules à propulsion purement électrique et une ligne d'alimentation bipolaire a fait ses preuves depuis environ 100 ans	
19	Elektrobusse mit Depotladung sind jedoch in der Reichweite begrenzt und als Gelegenheitslader (z.B. an Endstellen) be-nötigen sie zusätzlich Zeit für die Nachladung an den Ladestellen. Hybridoberleitungs-Busse (im weiteren HObusse oder Streckenlader) besitzen sowohl ein Stromabnehmersystem für Fahrleitungsanlagen als auch einen leistungsfähigen Elektroenergiespeicher an Bord. Sie können somit abschnittsweise unter Fahrleitung verkehren. Dabei kann auch der On-Board-Speicher geladen werden und es ergibt sich die Möglichkeit, auf weiteren Streckenabschnitten fahrleitungsunabhängig zu fahren. Das gewährleistet eine große Reichweite der Fahrzeuge und einen weitgehenden Verzicht auf Lade-Still-standszeiten im Depot oder an Gelegenheits-Ladestellen.	Toutefois, les bus électriques avec recharge au dépôt sont limités en kilomètres parcourables et, avec une charge occasionnelle (biberonnage) (par exemple en terminus), ils nécessitent un temps de stationnement supplémentaire pour être rechargés Les trolleybus hybrides (ci-après Trolleybus IMC ou charge en ligne) disposent à la fois d'un système de captage de courant pour les lignes aériennes et d'un système capacitaire de stockage d'énergie électrique à bord. Ils peuvent donc fonctionner partiellement sous les lignes aériennes de contact. Avec cela, l'accumulateur embarqué peut également être chargé et il est possible de fonctionner indépendamment de la ligne aérienne de contact sur d'autres tronçons de la ligne. Cela garantit une grande autonomie des véhicules et élimine les temps d'immobilisation pour la recharge dans le dépôt ou à des points de recharge occasionnelle.	Le temps supplémentaire pour recharge en terminus est faible avec certains systèmes de bus électriques à batteries
21	**3 Grundlagen** **3.1 Allgemeine Einführung**	3 Bases 3.1 Introduction générale	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

21	Rein batteriebetriebene elekt-rische Busse benötigen elektrische Infrastruktur in Form von Ladestationen entlang der Strecke und/oder auf den Busbetriebshöfen. Bei Betreibern, die auf Busbetriebshöfen viel Energie in möglichst kurzer Zeit in die Batterien nachladen müssen, ist davon ausgehen, dass die zu installierende elektrische Leistung im Megawattbereich liegt. Dabei können die Mittelspannungsnetze der städtischen Energieversorger sehr schnell an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit gebracht werden, zumal perspektivisch auch verstärkt der motorisierte Individualverkehr vorwiegend elektrisch betrieben und der bereits bestehende elektrische Nahverkehr auch weiter ausgebaut werden soll. Die Betriebserfahrungen der Betreiber, die batterieelektrische Busse bereits im Linieneinsatz testen, zeigen verschiedene Verbesserungspotenziale auf. In den letzten Jahren ist eine Steigerung der Verfügbarkeit mit neuen elektrischen Busgenerationen erreicht worden, doch die notwendigen Reichweiten der Energiespeicher sind für täglichen Linienbetrieb noch oft zu gering (siehe [93]). Dies ist einer der Gründe, warum Betreiber von der Bestellung größerer Stückzahlen rein batterie-elektrischer Busse bisher abgesehen haben. Eine Möglichkeit, dennoch lange unterbrechungsfreie Umläufe mit großen Gefäßgrößen (Gelenk- oder Doppelstockbusse) und dichten Fahrzeugfolgen auf lokal emissionsfreie elektrische Busse umzustellen, bietet sich in der Kombination von bewährter Oberleitungsbustechnik mit elektrischen Energiespeichern in Form von Batterien. Aus dieser Kombination heraus ergeben sich Freiräume für eine stadtverträgliche Gestaltung der elektrischen Infrastruktur.	Les bus électriques fonctionnant uniquement sur batterie nécessitent une infrastructure électrique sous la forme de stations de recharge le long du parcours et/ou dans les dépôts de bus. Pour les exploitants, qui doivent recharger dans les dépôts beaucoup d'énergie dans les batteries de bus dans les plus brefs délais, il est à supposer que la puissance électrique à installer est de l'ordre du mégawatt. Les réseaux de moyenne tension des fournisseurs d'énergie municipaux peuvent très rapidement être amenés à la limite de leur capacité, d'autant plus qu'à l'avenir, les transports individuels motorisés seront de plus en plus essentiellement alimentés par l'électricité, et que les transports locaux électriques existants seront encore développés. L'expérience d'exploitation des opérateurs qui testent déjà des bus électriques à batterie en service régulier montre diverses possibilités d'amélioration. Ces dernières années, les nouvelles générations de bus électriques ont permis d'accroître la disponibilité, mais les capacités nécessaires des unités de stockage d'énergie sont encore souvent trop faibles pour le fonctionnement quotidien des lignes (voir [93]). C'est l'une des raisons pour lesquelles les exploitants se sont jusqu'à présent abstenus de commander de plus grandes quantités de bus fonctionnant uniquement sur batterie. Une possibilité de convertir de longues rotations sans interruption (NDT pour recharge) avec des véhicules de grande taille (autobus articulés ou à deux étages) et de fortes fréquences en autobus électriques sans émissions locales est de combiner la technologie éprouvée des trolleybus avec le stockage de l'énergie électrique sous forme de batteries. Cette combinaison permet de concevoir l'infrastructure électrique de manière à ce qu'elle soit compatible avec les zones urbaines.	Eric Lentz de Vossloh Kiepe avait fait une remarquable présentation des problèmes posés par la charge de nuit en dépôt ou par biberonnage lors d'Innotrans 2016. Fichier 16-1377V PDeb Trolley In-Motion-Charging-Vossloh-Innotrans-2016 J'avais commencé une traduction en Français, mais elle est restée inachevée Fichier 16-1378P6 PDeb Trolley In-Motion-Charging-Vossloh-Innotrans-2016
22	**3.2 Fahrzeuge**	Les véhicules	
23	Zu erwarten ist, dass zurzeit angebotene Batteriebusse nur begrenzt für einen großflächigen Einsatz geeignet sind, da sie, trotz zahlreicher Fortschritte in der Batterietechnik, bezüglich ihrer Reichweite limitiert sind. Final realisierbare Reichweiten von Batteriefahrzeugen hängen erheblich vom notwendigen Heiz- und Klimatisierungsbedarf ab. Nach [79] er-scheint es sinnvoll, Batteriefahrzeuge mittels einer Brennstoffheizung aufzuwärmen, da der Energiebedarf für rein elektrisches Heizen groß ist.	Il faut s'attendre à ce que les bus à batterie actuellement proposés ne soient adaptés à une utilisation à grande échelle que dans une mesure limitée, car ils sont limités en termes d'autonomie malgré les nombreux progrès de la technologie des batteries. Au final, le rayon d'action des véhicules à batterie dépend dans une large mesure des besoins en matière de chauffage et de climatisation. Selon [79], il semble logique de chauffer les véhicules à batterie au moyen d'un chauffage au carburant, car les besoins en énergie pour le chauffage purement électrique sont élevés.	Cette solution de chauffage de bus électriques au moyen d'une installation de chauffage utilisant du carburant (Webasto) est aujourd'hui abandonnée (pas très écologique !!)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

23	**3.2.1 Betrieb mit dem Dieselbus** ***Eigenschaften des Diesel-(Hybrid)-Bussystems (18-m-Einfachgelenkbus):*** *Wirkungsgrad der Energieversorgung:* - rund 0,85 *Fahrzeugwirkungsgrad (vom Dieselkraftstoff bis zum Rad):* - 0,27 … 0,30 *Energieverbrauch:* - konventioneller Dieselbus: ~ 0,57 l/km - Diesel-Hybrid-Bus: ~ 0,51 l/km *Verfügbarkeit:* - konventioneller Dieselbus: ~ 95% - Diesel-Hybrid-Bus: ~ 70-83% *Lebensdauer:* - konventioneller Dieselbus: 10-14 Jahre - Diesel-Hybrid-Bus: 10-14 Jahre (Energiespeicher 7-12 Jahre) - Tankstelle: ~ 30 Jahre	3.2.1 Exploitation avec le bus Diesel Caractéristiques du système de bus Diesel (hybride) (bus simple articulation de 18 m) : *Efficacité de l'approvisionnement en énergie :* environ 0,85 *Rendement des véhicules (du gazole à la roue)* : 0,27 … 0,30 *La consommation d'énergie :* bus diesel conventionnel : ~ 0,57 l/km Autobus hybride diesel : ~ 0,51 l/km *Disponibilité :* bus Diesel conventionnel : ~ 95% Bus hybride Diesel : ~ 70-83% *Durée de vie :* bus Diesel conventionnel : 10-14 ans Bus hybride diesel : 10-14 ans (stockage d'énergie 7-12 ans) Station-service : ~ 30 ans	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

26	**3.2.2 Technischer Hintergrund von Elektro-Bus-Systemen**	3.2.2 Contexte technique des systèmes de bus électriques	
26	Tabelle 3-2: Vergleich von Asynchron- und permanenterregter Synchronmaschine, nach [78]	Tableau 3-2 : Comparaison entre moteur asynchrone et moteur synchrone à excitation permanente, selon [78].	Attention, la traduction n'est peut-être pas parfaite car je ne connais pas bien les moteurs synchrones

	Kurzschlussläufer Asynchronmotoren	Permanenterregte Synchronmotoren
Vorteile	- Einfacher / robuster Aufbau - Einfache Regelung - Einfaches Schutzkonzept - Günstigere Beschaffungskosten - Einfachere Fertigung	- Geringe Rotorverluste - Wirkungsgrad im Nennpunkt - besseres Masse-Leistungs-Verhältnis - geringere Masse - geräuscharm
Nachteile	- Wirkungsgrad im Nennpunkt - Rotorverluste bei geringer Drehzahl -> Erwärmung - Masse-Leistungs-Verhältnis nicht so kompakt - weniger kompakt als PSM	- Regelung erfordert Polradlagegeber - komplexere Schutztechnik - Hoher Blindstromanteil bei hoher Drehzahl - Zusatzverluste wegen erforderlicher Feldschwächung im Leerlauf - Material- / Produktionskosten

	Moteurs asynchrone à cage d'écureuil	Moteurs synchrones à excitation permanente
Avantages	- Construction simple / robuste - Une régulation simple - Un concept simple de protection - Des coûts d'achat plus favorables - Une production plus simple	-Faibles pertes de rotor - Efficacité au régime nominal - un meilleur rapport masse/performance - masse plus faible - faible bruit
Inconvénients	- Efficacité au régime nominal - Pertes de rotor à basse vitesse ->Chauffage - le rapport masse/performance n'est pas si bon - moins compact que le PSM (NDT Permanent Synchronous Motor)	Le contrôle nécessite un capteur de position du rotor - une technique de protection plus complexe - Courant réactif élevé à grande vitesse - Pertes supplémentaires dues à l'affaiblissement nécessaire du champ à vide - Coûts des matériaux / et de la production

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

28

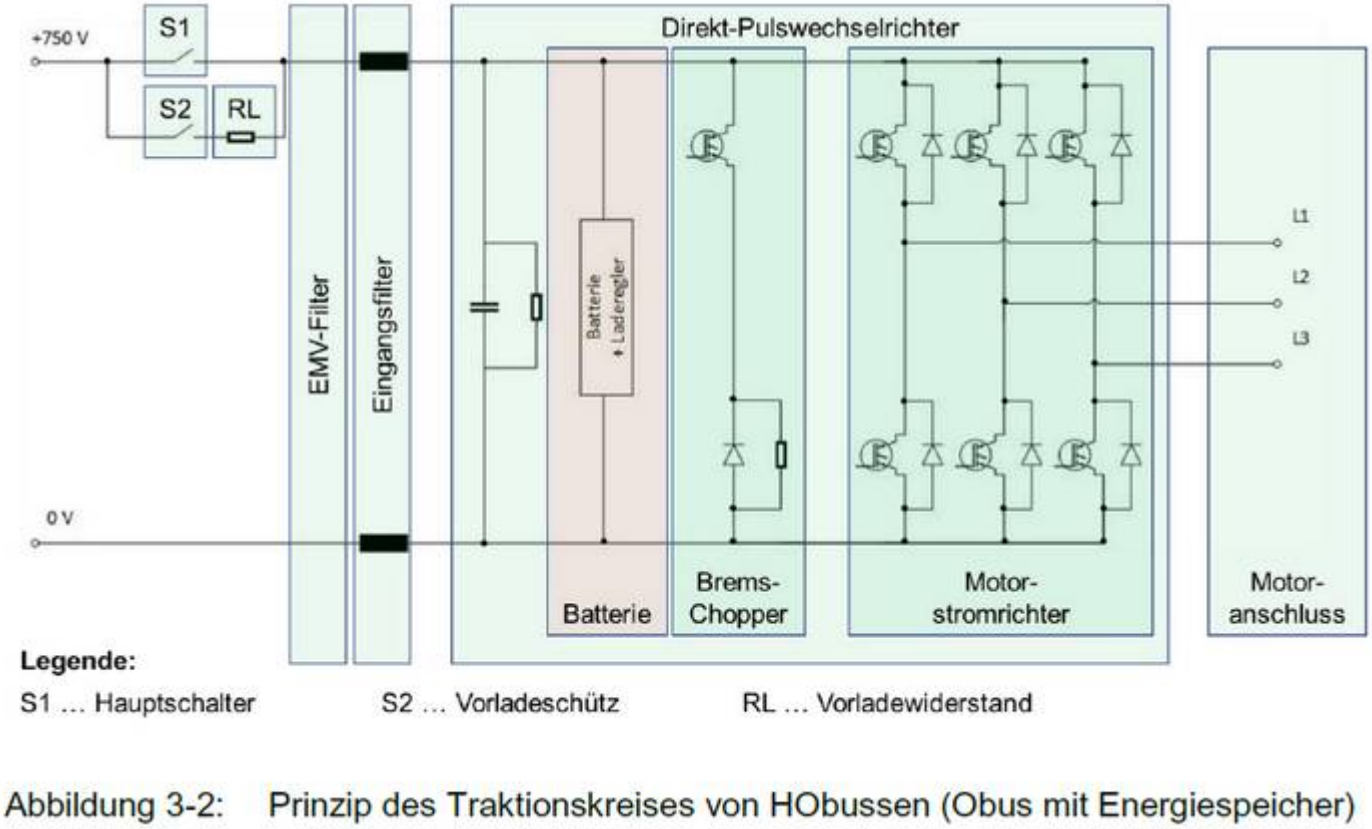


Abbildung 3-2: Prinzip des Traktionskreises von HObussen (Obus mit Energiespeicher)

Figure 3-2 Principe du circuit de traction des Trolleybus IMC (trolleybus avec stockage d'énergie)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

28	Da die maximale Traktionsleistung erst ab Erreichen der Übergangsgeschwindigkeit benötigt wird und dies im Stadtverkehr aufgrund kurzer Haltestellenabstände nur kurzzeitig der Fall ist, zeigt sich, dass Bordnetzverbraucher einen beträchtlichen Anteil am Gesamtener-gieverbrauch haben. Speziell bei ungünstigen Witterungsbedingungen steigt der Energiebedarf erheblich an. Betriebserfahrungen verschiedener Betreiber zeigen, dass der Gesam-tenergiebedarf an einem strengen Wintertag bis um mehr als 80 % ansteigen kann.	Étant donné que la puissance de traction maximale n'est nécessaire qu'une fois la vitesse de transition atteinte, et que ce n'est que brièvement le cas dans le trafic urbain en raison des courtes distances entre les arrêts, on constate que les consommateurs d'énergie embarqués représentent une part considérable de la consommation totale d'énergie. Les besoins en énergie augmentent considérablement, surtout lorsque les conditions météorologiques sont défavorables. L'expérience opérationnelle de divers exploitants montre que la demande totale d'énergie peut augmenter de plus de 80 % lors d'une journée d'hiver difficile.	Je n'ai pas bien compris « Übergangsgeschwindigkeit " traduit en vitesse de transition. Je pense qu'il s'agit de la vitesse à partir de laquelle la courbe effort vitesse décroit
29	Außer bei Obussen mit kontinuierlicher Energieversorgung muss der beachtliche Einfluss der Bordnetzverbraucher im Auslegungsprozess der Fahrzeugenergiespeicher berücksich-tigt werden. Beispielsweise in [79] wird daher für eine unbestimmte Übergangszeit die Nutzung einer Brennstoffheizung in Batteriebussen gefordert, da andererseits die erzielbaren Fahrzeugreichweiten für den ÖPNV unbefriedigend sind.	À l'exception des trolleybus à alimentation continue en énergie (NDT par la ligne aérienne), l'influence considérable des consommateurs embarqués doit être prise en compte dans la conception du système de stockage d'énergie du véhicule. Par exemple, en [79], l'utilisation d'un système de chauffage utilisant du carburant dans les autobus à batterie est donc exigée pour une période transitoire indéfinie, car d'autre part, les gammes de véhicules réalisables pour les transports publics sont insatisfaisantes.	Si on chauffe électrique, il faut des batteries de fortes capacités pour les bus électriques à batteries, sinon, chauffage type Webasto au gazole ; Mais cette solution qui existe sur certains bus batteries est aujourd'hui abandonnée
29	**3.2.2.2 Elektrische Energieerzeugung und -bereitstellung** Der Primärenergiebedarf eines Elektrobusses hängt, bezüglich Effizienz und Schadstoff-emission, direkt von der Art der Energieerzeugung ab.	3.2.2.2 Production et fourniture d'énergie électrique Le besoin en énergie primaire d'un bus électrique dépend, en termes d'efficacité et d'émissions polluantes, directement du type de production d'énergie.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

29

Die in Tabelle 3-3 aufgeführten mittleren Wirkungsgrade unterschiedlicher Kraftwerkstypen zeigen zunächst die Effizienz unterschiedlicher Energieerzeuger. Der Wirkungsgrad be-zieht sich auf den eingesetzten „Rohstoff“, wobei kommerziell die unterschiedlichen Kosten des „Rohstoffs“ zu berücksichtigen sind. Der schlechte Wirkungsgrad von Solaranlagen wird durch die kostenlose Bereitstellung der Sonneneinstrahlung kompensiert.

Tabelle 3-3: Physikalischer Wirkungsgrad von Energieerzeugungssystemen, nach [76]

Bauart	**Wirkungsgrad**
Solarkraftwerk	0,15
Photovoltaikanlage	0,15…0,2
Wasserkraftwerk	0,85
Thermisches Kraftwerk	0,50…0,42
Gas und Dampf-Kraftwerk	> 0,55
Kernkraftwerk	0,33…0,36
Windkraftanlagen	0,40…0,45

Les rendements moyens des différents types de production d’électricité énumérés dans le tableau 3-3 montrent d'abord l'efficacité des différents générateurs d'énergie. L'efficacité se rapporte à la "matière première" utilisée, les différents coûts commerciaux de la "matière première" devant être pris en compte. Le faible rendement des installations solaires est compensé par la gratuité du rayonnement solaire.

Tableau 3-3 : Rendement physique des systèmes de production d'électricité, selon [76].

Type	**Rendements**
Centrale Solaire	0,15
Centrale Photovoltaïque	0,15…0,2
Centrale Hydraulique	0,85
Centrale thermique	0,50…0,42
Centrale au gaz et Vapeur	> 0,55
Centrale Nucléaire	0,33…0,36
Eolien	0,40…0,45

29

Übertragen und verteilt wird die Energie über Höchst-, Hoch- und Mittelspannungsnetze. Einschließlich der notwendigen Umspannvorgänge sind die Übertragungsverluste gering. In der ProBas-Datenbank des Umweltbundesamtes finden sich bspw. die nachstehenden Effizienzangaben (Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Effizienz unterschiedlicher Freileitungsanlagen, nach [76]

		Spannungsebene		
Eigenschaften	**Einheit**	30 kV	150 kV	400 kV
Leistung	[MW]	15	60	900
Verluste	[%/100 km]	2,00	0,44	0,33

L'énergie est transmise et distribuée par des réseaux à très haute, haute et moyenne tension. Si l'on inclut les sous-stations nécessaires, les pertes de transmission sont faibles. Par exemple, la base de données ProBas de l'Agence fédérale de l'environnement contient les données d'efficacité suivantes (tableau 3-4).

Tableau 3-4 : Efficacité des différents systèmes de lignes aériennes, selon [76].

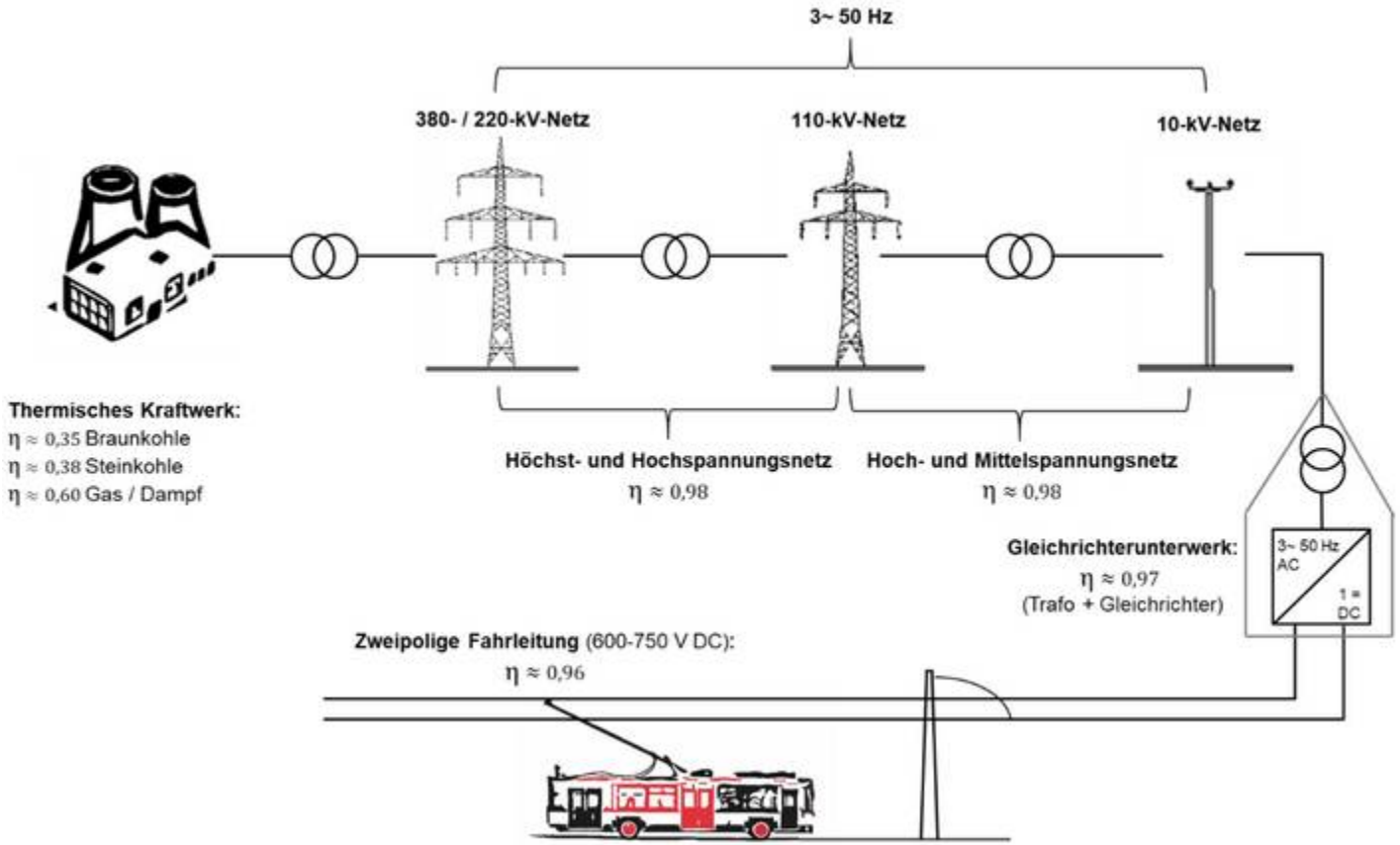
		Niveau de tension		
Type	Unité	30 kV	150 kV	400 kV
Puissance	[MW]	15	60	900
Pertes	[%/100 km]	2,00	0,44	0,33

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

30	**3.2.3 Oberleitungsbus** *Wirkungsgrad der Energieversorgung:* - 0,34 (Kraftwerk – Fahrzeug) - 0,93 (Eingang Unterwerk – Fahrzeug) *Fahrzeugwirkungsgrad:* - 0,855 (bei direkter Speisung des Antriebs aus der Oberleitung) *Energieverbrauch:* - rund 2,4 kWh/km (mit Möglichkeit der Rekuperation) *Verfügbarkeit:* - vergleichbar einem konventionellem Dieselbus *Lebensdauer:* - Fahrzeuge: 15-20 Jahre - Infrastrukturanlagen: mindestens 30 Jahre	3.2.3 Trolleybus *Efficacité de l'approvisionnement en énergie :* - 0,34 (centrale électrique - véhicule) - 0,93 (sous-station d'entrée - véhicule) *Efficacité des véhicules :* - 0,855 (avec alimentation directe du moteur par la ligne aérienne) *La consommation d'énergie :* - environ 2,4 kWh/km (avec possibilité de récupération) *Disponibilité :* - comparable à un autobus Diesel classique *Durée de vie :* - Véhicules : 15-20 ans - Installations d'infrastructure : au moins 30 ans	On ne dit pas le type de véhicule, 12 m ou 18 m pour la consommation. 2,4 kWh/km Une durée de vie de 15 à 20 ans parait courte pour du trolleybus, ce serait plutôt 20 à 24 ans, les véhicules roulant beaucoup plus longtemps encore en seconde main. Des remplacements précoces le sont pour des raisons marketing (Arnhem table sur une durée de vie de 17 ans pour ses nouveaux trolleybus)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

31



Netz : Réseau Thermisches Kraftwerk : Centrale thermique Braunkohle : Lignite Steinkohle : Houille Gas/Dampf : Gaz/Vapeur	Höchst-und Hochspannungsnetz : Réseau très haute et haute tension Hocht-und Mitteilsspannungsnetz : Réseau haute et moyenne tension Gleicrichterunterwerk : Sous-station de redressement Trafo + Gleichricheter : Transfo + Redresseur Zweipolige Fahrleitung : Ligne aérienne 2 pôles

Abbildung 3-4: Prinzip der Energieübertragung beim Obus ohne fahrleitungsfreie Abschnitte, eigene Darstellung, nach [76]
Figure 3-4 : Principe de transmission de l'énergie au trolleybus IMC sans sections sans ligne aérienne de contact, illustration propre, d'après [76].

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

31	Der Oberleitungsbus (Obus) ist nach heutigem Stand das einzige System, welches einen vergleichbaren technischen Reifegrad besitzt wie der Dieselbus. Die Energieübertragung beim klassischen Oberleitungsbus erfolgt konduktiv und kontinuierlich über die zweipolige Fahrleitung. Dies ist notwendig, da im Gegensatz zur Schienenbahn die Fahrbahn nicht die Funktion der Rückleitung übernehmen kann. Die Gesamtsystemverluste der Übertragung ergeben sich aus den in Abbildung 3-4 angegebenen Verlusten der Teilsysteme. Innerhalb des Systems gibt es keine Begrenzungen der Reichweite, jedoch sind die Fahrzeuge hinsichtlich der betrieblichen Freiheitsgrade an das Fahrleitungsnetz gebunden. Der Zwang, die Fahrleitung zweipolig auszuführen und die U-förmig ausgeführten Schleifstücke der Stromabnehmer führen zu aufwendigen und optisch auffälligen Weichen und Kreuzungen in der Fahrleitung. Durch Einsatz eines Energiespeichers an Bord der Fahrzeuge können Abzweige, Kreuzungen oder Streckenabschnitte, wo eine Elektrifizierung aufwändig oder aus ästhetischen Gründen unerwünscht ist, fahrleitungsfrei ausgeführt werden. [15] [16]	Dans l'état actuel des choses, le trolleybus est le seul système ayant un degré de maturité technique comparable à celui de l'autobus Diesel. Dans le trolleybus classique, l'énergie est transmise par conduction et en continu par la ligne aérienne à deux pôles. Cela est nécessaire car, contrairement aux chemins de fer, la voie ne peut pas prendre la fonction de la ligne de retour. Les pertes totales du système de transmission résultent des pertes des sous-systèmes indiquées dans la figure 3-4. Au sein du système, la portée n'est pas limitée, mais les véhicules sont liés au réseau de lignes aériennes en termes de degrés de liberté opérationnels. L'obligation de concevoir la ligne aérienne avec deux pôles et les bandes de contact en forme de U des perches, conduisent à des aiguillages et des croisements élaborés et visuellement visibles dans la ligne aérienne. L'utilisation d'un système de stockage d'énergie à bord des véhicules permet de concevoir des branches, des croisements, ou des sections de voies où l'électrification est coûteuse ou indésirable pour des raisons esthétiques, sans lignes aériennes de contact. [15] [16]	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

<table>
<tr>
<td>32</td>
<td>Tabelle 3-5: Vor- und Nachteile von Oberleitungsbussen mit ausschließlicher Versorgung aus der Fahrleitung, nach [76]
<table>
<tr><td>Vorteile</td><td>Technisch:
- Hohe bereitstellbare Leistung (für Traktion und Nebenverbraucher)
- Hoher Wirkungsgrad der Energieübertragung
- Hohe Drehmomente über den gesamten Drehzahlbereich
- Möglichkeit zur Rekuperation von Bremsenergie

Ökonomisch:
- Hohe Lebensdauer von Anlagen und Fahrzeugen
- Geringer Energieverbrauch der Fahrzeuge (Rekuperation und keine Energiequelle an Bord)

Ökologisch:
- Reduzierte lokale Schadstoffemission
- Reduzierte Lärmemission</td></tr>
<tr><td>Nachteile</td><td>Technisch:
- Notwendigkeit der doppelten Isolation des Fahrzeuges à Kosten
- Begrenzung der betrieblichen Freiheitsgrade durch Spurzwang

Ökonomisch:
- Hoher Investitionsaufwand für die Infrastrukturanlagen
- Hoher Investitionsaufwand für die Fahrzeuge

Ökologisch/Optisch:
- Beeinflussung des Stadtbildes durch Oberleitungsanlagen</td></tr>
</table>
</td>
<td>Tableau 3-5 : Avantages et inconvénients des trolleybus alimentés exclusivement par la ligne aérienne de contact, selon [76].
<table>
<tr><td>Avantages</td><td>Techniquement :
- Puissance disponible élevée (pour la traction et les auxiliaires)
- Grande efficacité de la transmission de l'énergie
- Couples élevés sur toute la plage de vitesses
- Possibilité de récupérer de l'énergie au freinage

Economiquement :
- Longue durée de vie des installations et des véhicules
- Faible consommation des véhicules en énergie (récupération et aucune source d'énergie à bord)

Ecologiquement :
- Réduction des émissions polluantes locales
- Réduction des émissions sonores</td></tr>
<tr><td>Inconvénients</td><td>Techniquement :
- Nécessité d'une double isolation des véhicules -> coûts
- Limitation de la liberté d’exploitation du fait de la contrainte de suivre les lignes aériennes

Economiquement :
- Coûts d'investissement élevés pour les installations d'infrastructure
- Coûts d'investissement élevés pour les véhicules

Ecologiquement / Visuellement :
- Influence des lignes aériennes sur le paysage urbain</td></tr>
</table>
</td>
<td>A noter que tous les trolleybus comportaient un GMA (Groupe de Marche Autonome appelé aussi APU pour Auxiliary Power Unit en anglais), générateur Diesel d’électricité embarqué permettant une circulation sans ligne aérienne.

Certaines techniques dans la conception de la chaîne de traction dispensent de la double isolation des véhicules

A noter que les coûts d’investissement élevés pour les véhicules et les infrastructures électriques doivent être rapportés à leur durée de vie qui est longue

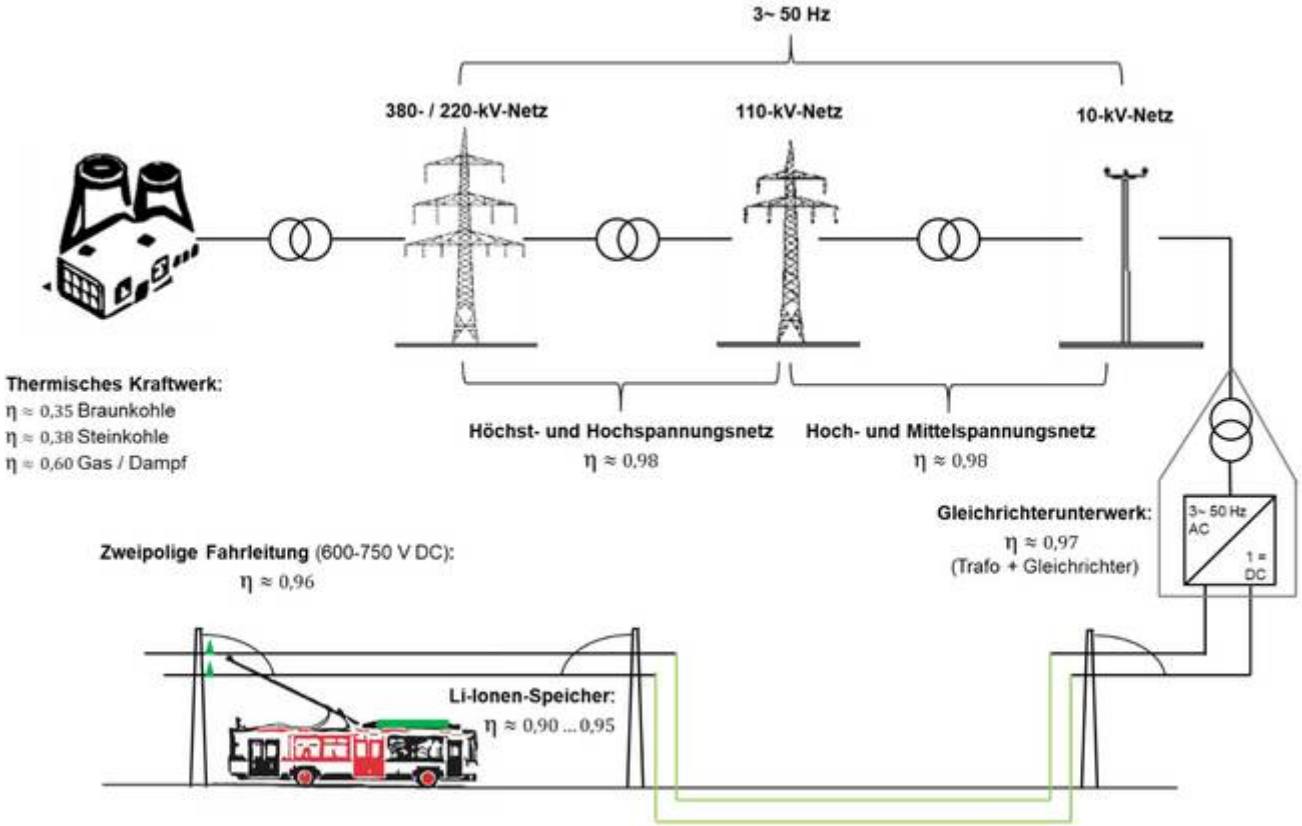
Pour la contrainte de suivre les lignes aériennes, le trolleybus peut s’en écarter de 4 mètres de part et d’autre.</td>
</tr>
</table>

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

32	**3.2.4 Hybridoberleitungsbus (Streckenlader)** *Wirkungsgrad der Energieversorgung:* - 0,34; vom Kraftwerk zum Fahrzeug - 0,93; vom Eingang des Unterwerks zum Fahrzeug *Fahrzeugwirkungsgrad:* - 0,855; bei direkter Speisung des Antriebs aus der Oberleitung - 0,75 – 0,70; bei Speisung des Antriebs aus der Batterie, unter Berücksichtigung des Lade- und Entladewirkungsgrads *Energieverbrauch:* - Für 18 m- Gelenkbusse rund 3,0 kWh/km *Lebensdauer:* - Fahrzeuge: 15-20 Jahre (vergleichbar mit dem Obus) - Infrastrukturanlagen: mindestens 30 Jahre	3.2.4. Trolleybus hybride (recharge en ligne) (NDT trolleybus IMC avec batteries) *Rendement de l'approvisionnement en énergie :* - 0,34 ; de la centrale électrique au véhicule - 0,93 ; de l'entrée de la sous-station au véhicule *Rendement des véhicules :* - 0,855 ; lorsque le moteur est alimenté directement par la ligne aérienne - 0,75 - 0,70 ; lorsque le moteur est alimenté par la batterie, en tenant compte de l'efficacité de la charge et de la décharge *La consommation d'énergie :* - Pour les bus articulés de 18 m, environ 3,0 kWh/km *Durée de vie :* - Véhicules : 15-20 ans (comparable au trolleybus) - Installations d'infrastructure : au moins 30 ans	La durée de vie de 15 à 20 ans parait un peu faible : voir remarque faite pour le trolleybus. A noter une durée de vie plus faible des batteries, aujourd'hui environ 7 ans mais qui devrait augmenter (dépend aussi de la façon dont elle est utilisée)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

33



Netz : Réseau Thermisches Kraftwerk : Centrale thermique Braunkohle : Lignite Steinkohle : Houille Gas/Dampf : Gaz/Vapeur	Höchst-und Hochspannungsnetz : Réseau très haute et haute tension Hocht-und Mitteilsspannungsnetz : Réseau haute et moyenne tension Gleicrichterunterwerk : Sous-station de redressement Trafo + Gleichricheter : Transformateur + Redresseur Zweipolige Fahrleitung : Ligne aérienne 2 pôles Li Ionen Speicher : Accumulateur Li-Ion

Abbildung 3-5: Prinzip der Energieübertragung beim HObus mit abschnittsweise Fahrleitungsfreien Abschnitten, eigene Darstellung, nach [76]
Figure 3-5 : Principe de transmission de l'énergie au trolleybus IMC avec des sections sans ligne aérienne de contact, illustration propre, d'après [76].

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

33	Wie schon oben angeführt ist es möglich, einen Oberleitungsbus mit einem leistungsfähigen Energiespeicher auszurüsten. Damit besteht die Möglichkeit, nicht elektrifizierte Abschnitte mit dem Obus zu erschließen beziehungsweise den Infrastrukturbedarf in zu elektrifizieren-den Abschnitten zu reduzieren (Verzicht auf Weichen und Kreuzungen). Zudem ergeben sich für den Betrieb zusätzliche Freiheitsgrade, sodass beispielsweise Baustellen und Staus umfahren werden können. Begrenzt wird die gewonnene Flexibilität durch den Andrahtvorgang. Dieser ist heute bereits im Stillstand mit Hilfe von Trichtern automatisch möglich, jedoch verliert man einige Sekunden Zeit und das Fahrzeug muss in einer bestimmten Position stehen. So sind beispielsweise Überholvorgänge schwierig zu realisieren, wenn nur punktuell angedrahtet werden kann.	Comme mentionné ci-dessus, il est possible d'équiper un trolleybus d'un puissant système de stockage d'énergie. Ainsi, il est possible de parcourir des sections non électrifiées avec le trolleybus ou de réduire les besoins en infrastructure dans les sections à électrifier (renonciation aux aiguillages et aux croisements). En outre, il en résulte des degrés de liberté supplémentaires pour l'exploitation, de sorte que, par exemple, les chantiers et les embouteillages peuvent être contournés. La flexibilité acquise est limitée par le processus de prise de contact avec la ligne aérienne. Aujourd'hui, cela est déjà possible automatiquement à l'arrêt à l'aide d'entonnoirs (NDT : des dièdres suspendus à la ligne aérienne, mais on perd quelques secondes et le véhicule doit être dans une bonne position. Les opérations de dépassement, par exemple, sont difficiles à mettre en œuvre si une prise de contact avec la ligne aérienne n'est possible qu'à certains endroits	A noter que la prise de contact avec la ligne aérienne (emperchage), si elle se fait à un arrêt, se fait en temps masqué pendant l'échange des voyageurs

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

34

Tabelle 3-6: Vor- und Nachteile von Oberleitungsbussen mit abschnittsweiser Nachladung unter Fahrdraht, nach [75]

Vorteile	**Technisch:** - Hohe bereitstellbare Leistung (für Traktion und Nebenverbraucher) - Hoher Wirkungsgrad der Energieübertragung - Hohe Drehmomente über den gesamten Drehzahlbereich - Möglichkeit zur Rekuperation von Bremsenergie - Lebensdauerfreundliche Batterie-Ladekonzepte, ohne Schnellladung möglich - unter Oberleitung mit geringeren Leistungen nachladbar **Ökonomisch:** - Reduzierte Infrastrukturkosten – speziell Kreuzungen und Weichen entfallen - Hohe Lebensdauer von Anlagen und Fahrzeugen - Geringer Energieverbrauch der Fahrzeuge (Rekuperation) **Ökologisch:** - Reduzierte lokale Schadstoffemission - Reduzierte Lärmemission - Reduzierte optische Beeinflussung des Stadtbildes

Tableau 3-6 : Avantages et inconvénients des trolleybus avec recharge des batteries sur les sections avec fils de contact (trolleybus IMC), selon [75].

Avantages	**Techniquement:** - Puissance disponible élevée (pour la traction et les auxiliaires) - Grande efficacité de la transmission de l'énergie - Couples élevés sur toute la plage de vitesse - Possibilité de récupérer de l'énergie au freinage - Concepts de recharge des batteries favorables à une grande durée de vie sans recharges rapides - peuvent être rechargées sous la ligne aérienne à une puissance moindre **Economiquement:** - Réduction des coûts d'infrastructure – en particulier plus besoin de croisements et d'aiguillages - Longue durée de vie des installations et des véhicules - Faible consommation d'énergie des véhicules (récupération) **Ecologiquement:** - Réduction des émissions polluantes locales - Réduction des émissions sonores - Réduction de l'impact visuel sur le paysage urbain

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

<table>
<tr>
<td>34</td>
<td>
Tabelle 3-6: Vor- und Nachteile von Oberleitungsbussen mit abschnittsweiser Nachladung unter Fahrdraht, nach [75]
<table>
<tr><td>Nachteile</td><td>Technisch:
- Notwendigkeit der doppelten Isolation des Fahrzeuges à Kosten
- Zusätzlicher Bedarf an Regelungstechnik – auf Kosten der Zuverlässigkeit

Ökonomisch:
- Gegenüber Obus erhöhte Fahrzeugkosten und zusätzliche Kosten für die Batterie
- Reduzierter aber immer noch hoher Investitionsaufwand für die Infrastrukturanlagen
- Die Lebensdauer der Batterie entspricht nicht der Lebensdauer des Fahr-zeugs – Wechsel notwendig

Ökologisch/Optisch:
- Verschlechterter „ökologischer Fußabdruck“ durch zusätzlich benötigte Komponenten</td></tr>
</table>
</td>
<td>
Tableau 3-6 : Avantages et inconvénients des trolleybus avec recharge des batteries sur les sections avec fils de contact (trolleybus IMC), selon [75].
Suite
<table>
<tr><td>Inconvénients</td><td>Techniquement:
- Nécessité d'une double isolation ->coûts du véhicule
- Demande supplémentaire de technologies de contrôle - au détriment de la fiabilité
Economiquement:
- Par rapport au trolleybus, augmentation des coûts des véhicules et coûts supplémentaires pour la batterie
- Des coûts d'investissement réduits mais toujours élevés pour les infrastructures
- L'autonomie de la batterie ne correspond pas à la durée de vie du véhicule - remplacement nécessaire
Ecologiquement/Visuellement:
- Détérioration de l"empreinte écologique" en raison des composants supplémentaires requis (NDT : batteries de capacité adaptée à la distance parcourable hors des lignes aériennes)</td></tr>
</table>
</td>
<td>
Certaines techniques dans la conception de la chaîne de traction dispensent de la double isolation des véhicules

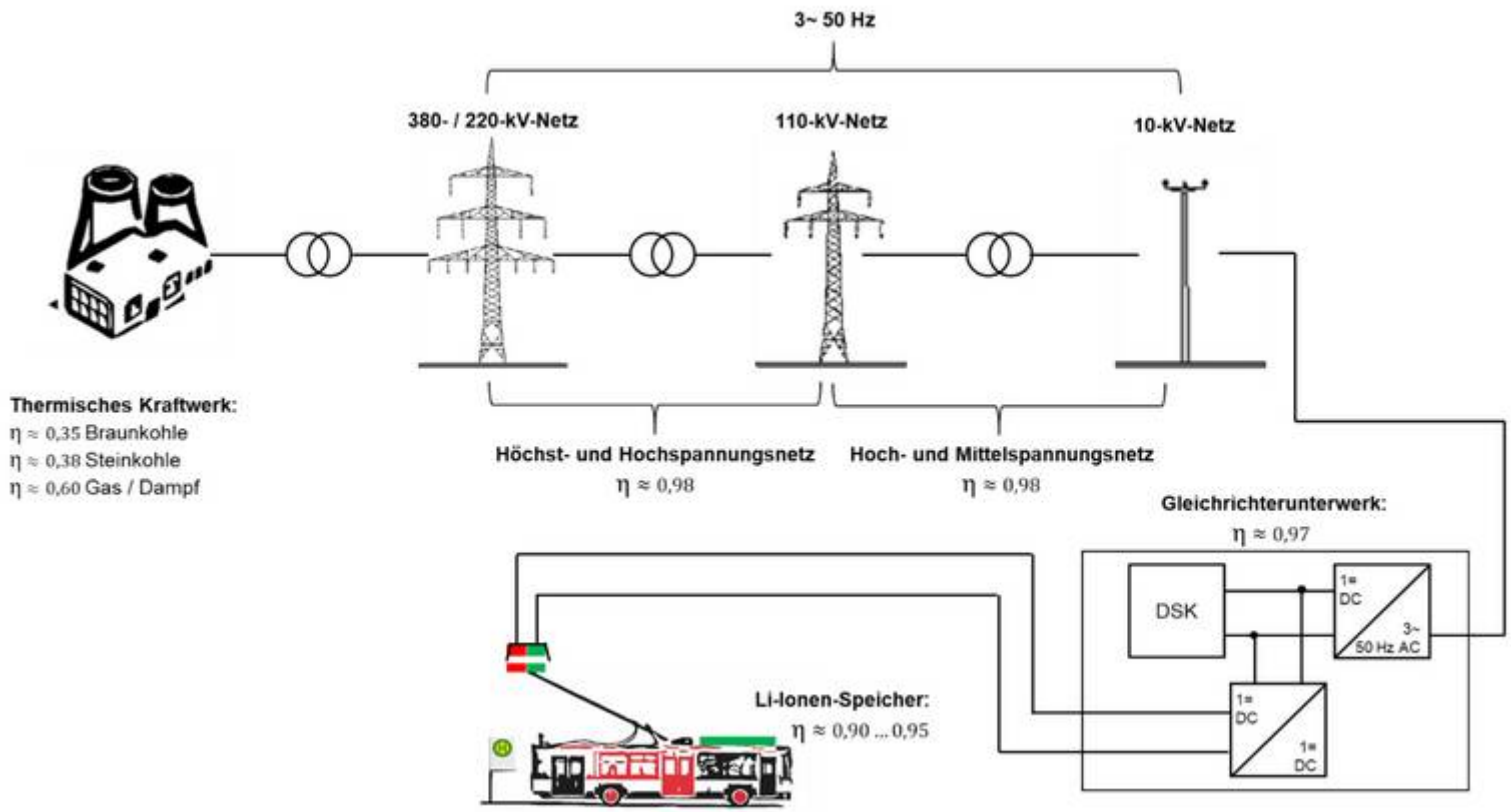
A noter que les coûts d’investissement élevés pour les véhicules et les infrastructures électriques doivent être rapportés à leur durée de vie qui est longue
</td>
</tr>
</table>

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

34	**3.2.5 Elektrobusse mit punktueller, automatisierter Nachladung** **3.2.5.1 Allgemeines** *Wirkungsgrad der Energieversorgung:* - 0,35 vom Primärenergieträger (Kraftwerk) zur Nachladestation - 0,90 … 0,93 für das Übertragungssystem *Fahrzeugwirkungsgrad:* - 0,82; der Wirkungsgrad der E-Traktion wird durch den Batteriewirkungsgrad und durch den Wirkungsgrad des Ladegeräts reduziert - 0,75 – 0,70; bei Speisung des Antriebs aus der Batterie, unter Berücksichtigung des Lade- und Entladewirkungsgrads *Energieverbrauch:* - Für 18 m- Gelenkbusse rund 3,0 kWh/km - Drastische Reichweitenreduzierung bei Einsatz elektrischer Heizgeräte und Klimaanlagen *Lebensdauer:* - Fahrzeuge: 15-20 Jahre - Infrastrukturanlagen: mindestens 30 Jahre	3.2.5 Bus électriques avec recharge ponctuelle (NDT : biberonnage) et automatisée 3.2.5.1 Généralités *Rendement de l'approvisionnement en énergie :* - 0,35 de la source d'énergie primaire (centrale électrique) à la station de recharge - 0,90 ... 0,93 pour le réseau de transport *Rendement des véhicules :* - 0,82 ; le rendement de la traction électrique est réduit par le rendement de la batterie et par le rendement du chargeur - 0,75 - 0,70 ; lorsque le moteur est alimenté par la batterie, en tenant compte du rendement de la charge et de la décharge *La consommation d'énergie :* - Pour les bus articulés de 18 m, environ 3,0 kWh/km - Réduction considérable de la distance parcourable lors de l'utilisation du chauffage électrique et de la climatisation *La durée de vie :* - Véhicules : 15-20 ans - Installations d'infrastructure : au moins 30 ans	Le terme « automatisée » pour la recharge veut sans doute dire que la commande se fait depuis le poste de conduite du véhicule (pas de branchement de cablots)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

35



Netz : Réseau Thermisches Kraftwerk : Centrale thermique Braunkohle : Lignite Steinkohle : Houille Gas/Dampf : Gaz/Vapeur	Höchst-und Hochspannungsnetz : Réseau très haute et haute tension Hocht-und Mitteilsspannungsnetz : Réseau haute et moyenne tension Gleicrichterunterwerk : Sous-station de redressement Li Ionen Speicher : Accumulateur Li-Ion

Abbildung 3-6: Prinzip der Energieübertragung Elektrobus mit punktueller automatisierter Nachladung, eigene Darstellung, nach [76]
Figure 3-6 : Principe de transmission de l'énergie Bus électrique avec recharge ponctuelle automatisée, illustration propre, d'après [76].

Pour les bus électriques, ce ne sont pas des perches, mais soit un pantographe (dans certains cas c'est le mat de charge qui porte un pantographe inversé) soit un dispositif spécial de mise en contact

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

35	Der Infrastrukturaufwand kann auf ein Minimum reduziert werden, wenn nur noch an explizit dafür vorgesehenen Streckenpunkten Nachlademöglichkeiten geschaffen werden (Fahrleitungsnetz entfällt). Üblicherweise werden dafür spezielle Stromabnehmer verwendet, die durch Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Stromabnehmer und Nachladestation im Stillstand die benötigten hohen Ströme übertragen können. Schleifschuhe für Obusfahrleitungen können aus thermischen Gründen nur einen geringen Strom im Stillstand des Fahrzeugs übertragen. In der Praxis unterscheidet man zwischen „Übernachtladern“ (im Depot) und „Gelegenheitsladern“ (zum Beispiel an Endhaltestellen). Für alle Elektrobuskonzepte, die nicht kontinuierlich oder zumindest über längere Abschnitte aus der Oberleitung nachgeladen werden, stellt die Versorgung der Hilfsbetriebe wie Heizung und Klimatisierung eine Herausforderung dar.	Les coûts d'infrastructure peuvent être réduits au minimum si les installations de recharge ne sont créées qu'aux points de la ligne explicitement désignés (réseau de ligne aérienne non requis). Pour cela, on utilise généralement des collecteurs de courant spéciaux, qui peuvent transmettre les courants élevés requis en augmentant la surface de contact entre le collecteur de courant et la station de recharge à l'arrêt. Pour des raisons thermiques, les sabots collecteurs pour les lignes aériennes de trolleybus ne peuvent transmettre qu'un faible courant lorsque le véhicule est à l'arrêt. Dans la pratique, une distinction est faite entre les "charge de nuit" (dans le dépôt) et les "charge occasionnelles" (par exemple aux terminus). Pour tous les concepts d'autobus électriques, qui ne sont pas rechargés en continu à partir de la ligne aérienne ou du moins sur de longs tronçons, l'alimentation des auxiliaires, tels que le chauffage et la climatisation, constitue un défi.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

<table>
<tr>
<td>36</td>
<td>Tabelle 3-7: Vor- und Nachteile von Elektrobussen mit punktueller, automatisierter Nachladung, nach [76]
<table>
<tr>
<td>Vorteile</td>
<td>Technisch:
- Hoher betrieblicher Freiheitsgrad des Fahrzeugs
- Hoher Wirkungsgrad der Energieübertragung
- Verteilter Antrieb mit hohem Drehmoment möglich
- Möglichkeit zur Rekuperation von Bremsenergie in den Speicher
- Doppelte Isolation entfällt, da das Fahrzeug beim Laden über ein Kontaktsystem geerdet werden kann

Ökonomisch:
- Hohe Lebensdauer von Anlagen und Fahrzeugen
- Signifikant reduzierte Infrastrukturkosten gegenüber Obussystemen
- Geringer Energieverbrauch der Fahrzeuge (Rekuperation)

Ökologisch:
- Reduzierte lokale Schadstoffemission
- Reduzierte Lärmemission
- Stark reduzierte optische Beeinflussung des Stadtbildes</td>
</tr>
</table>
</td>
<td>Tableau 3-7 : Avantages et inconvénients des bus électriques à recharge ponctuelle (NDT : biberonnage) et automatisée, selon [76].
<table>
<tr>
<td>Avantages</td>
<td>Techniquement:
- Degré élevé de liberté d’exploitation du véhicule
- Haut rendement de la transmission de l'énergie
- Possibilité de traction répartie avec un couple élevé
- Possibilité de récupérer l'énergie de freinage dans l’accumulateur
- La double isolation n'est pas nécessaire, car le véhicule peut être mis à la terre par un système de contacts pendant la charge
Economiquement:
- Longue durée de vie des installations et des véhicules
- Réduction significative des coûts d'infrastructure par rapport aux systèmes de trolleybus
- Faible consommation d'énergie des véhicules (récupération)
Ecologiquement:
- Réduction des émissions polluantes locales
- Réduction des émissions sonores
- Impact visuel fortement réduit sur le paysage urbain</td>
</tr>
</table>
</td>
<td>Traction répartie (plusieurs essieux moteurs) existe pour les trolleybus</td>
</tr>
</table>

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

36	Tabelle 3-7: Vor- und Nachteile von Elektrobussen mit punktueller, automatisierter Nachladung, nach [76] **Nachteile** **Technisch:** - Erhöhte Ladeverluste durch erhöhte Ladeleistungen (Wärme) - Elektrisches Heizen des Fahrgastraums aus der Batterie reduziert die Reichweiten erheblich - Schnellladung erhöht Verluste im Speicher (Wärme – Kühlung notwendig) - Schnellladung erschwert bei hohen Umgebungstemperaturen **Ökonomisch:** - Hohe Infrastrukturkosten gegenüber Dieselsystem - Hohe Fahrzeugbeschaffungskosten - Lebensdauer der Batterie entspricht nicht der Lebensdauer der Fahrzeuge – Wechsel erforderlich **Ökologisch/Optisch:** - „ökologischer Fußabdruck“ durch zusätzlich benötigte Komponenten und große Speicher schlechter als beim Dieselbussystem	Tableau 3-7 : Avantages et inconvénients des bus électriques à recharge ponctuelle (NDT : biberonnage) et automatisée, selon [76]. (Suite) **Inconvénients** **Techniquement:** - Augmentation des pertes lors de la charge dues à l'augmentation de la puissance de charge (chaleur) - Le chauffage électrique de l’intérieur du véhicule par la batterie réduit considérablement l'autonomie - Une charge rapide augmente les pertes dans l’unité de stockage (NDT : batteries) (chaleur - refroidissement nécessaire) - La recharge rapide est difficile à des températures ambiantes élevées **Economiquement:** - Coûts d'infrastructure élevés par rapport au système Diesel - Coûts élevés d'acquisition des véhicules - La durée de vie des batteries ne correspond pas à la durée de vie des véhicules - remplacement nécessaire **Ecologiquement/Visuellement:** - "empreinte écologique" pire que le système de bus Diesel en raison des composants supplémentaires requis et des grandes unités de stockage (NDT : batteries)	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

36	**3.2.5.2 Übernachtlader** Als „Übernachtlader“ (mitunter auch „Volllader“ oder Depotlader genannt) werden jene Batteriebusse bezeichnet, die zum Nachladen des Energiespeichers die nächtliche Betriebspause nutzen. Die Ladeinfrastruktur kann bei diesem Konzept auf Nachladeeinrichtungen in den Betriebshöfen beschränkt werden. Entlang der zu befahrenden Strecken werden keine zusätzlichen Ladeeinrichtungen benötigt. Die Nachladung des Energiespeichers kann zum Beispiel erfolgen · per Kabel (Bodenelektranten oder Überkopfaufhängung des Steckers), · mit speziellen leistungsfähigen Pantographensystemen, · bei HObussen über die konventionellen Stromabnehmer (Ladeleistung sehr begrenzt).	3.2.5.2 Charge de nuit Les "charges de nuit" (parfois aussi appelées "charges completes" ou charges en dépôt) concernent les bus à batterie qui utilisent la pause de d’exploitation nocturne pour recharger le système de stockage d'énergie. Dans ce concept, l'infrastructure de recharge peut se limiter aux installations de recharge dans les dépôts. Il n'est pas nécessaire de mettre en place chargeurs supplémentaires le long des itinéraires à parcourir. La recharge des accumulateurs d'énergie peut se faire par exemple : · par câble (au niveau du sol ou suspension aérienne de la prise), · avec des systèmes de pantographes spéciaux et performants, · pour les trolleybus IMC, via les perches classiques (capacité de charge très limitée).	Pour les trolleybus IMC via les perches classiques (capacité de charge très limitée) : il faut rappeler que la capacité de charge à l’arrêt via les frotteurs de perches n’est pas si limitée que cela (certes notablement inférieure à celle de la charge en mouvement), et que la capacité de la batterie à recharger est relativement faible, comparativement à celle d’un bus électrique

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

37	Bei ausreichender Standzeit kann die Nachladung „lebensdauerfreundlich“ mit geringer C-Rate erfolgen. Falls die Standzeit ausreicht, ist zur Reduktion der Anschlussleistung auch eine zeitlich versetzte Ladung von Fahrzeuggruppen möglich. Mit der Installation eines intelligenten Flotten-Batteriemanagements ist es somit möglich, die speisenden Netze moderat und kontinuierlich (ohne Spitzen) zu belasten. Jedoch werden für Übernachtlader große (schwere) Energiespeicher an Bord der Fahr-zeuge benötigt, da die erneute Ladung erst in der nächsten Betriebspause erfolgen kann. In Beispielprojekten wurden Speicher bis zu 300 kWh auf den Fahrzeugen installiert [95]. Die Energiedichte heutiger Batterien begrenzt die an Bord speicherbare Energie. Dieses Konzept ist somit vor allem für den Einsatz auf Linien mit geringem Tagesenergiebedarf anwendbar. Mit der momentan verfügbaren Speichertechnologie sind damit, innerhalb der Grenzen der Tragfähigkeit der Fahrzeugrahmen, Reichweiten von etwa 200…300 km mög-lich. [17],[94], [95], [96] Bei Unternehmen mit kurzen Betriebspausen wegen ausgedehntem Nachtverkehr und star-ker Frühspitze reduziert sich die verfügbare Ladezeit entsprechend. Dies führt zu höheren Ladeströmen und damit zu einem Bedarf an leistungsfähigerer Ladeinfrastruktur einschließlich leistungsfähigem Netzanschluss und letztlich auch zu geringerer Batterielebensdauer.	Si le temps de stationnement est suffisant, la recharge peut être effectuée de manière "respectueuse de la vie (NDT : de la batterie)" avec un taux de charge faible. Si le temps de stationnement est suffisant, il est également possible d'échelonner la charge des groupes de véhicules afin de réduire la charge connectéepuissance appelée. Avec l'installation d'une gestion intelligente des batteries de la flotte de véhicules, il est donc possible d’avoir une demande modérée et continue (sans pics) auprès des réseaux d'alimentation de manièr. Cependant, la charge de nuit nécessite de grandes unités (lourdes) de stockage d'énergie à bord des véhicules, car la recharge ne peut avoir lieu que lors de la prochaine pause d’exploitation. Dans le cadre de ces projets, des unités de stockage (NDT : batteries) allant jusqu'à 300 kWh ont été installées sur les véhicules [95]. La densité énergétique des batteries actuelles limite l'énergie qui peut être stockée à bord. Ce concept est donc particulièrement applicable pour une utilisation sur des lignes dont les besoins énergétiques quotidiens sont faibles. Avec la technologie de stockage actuellement disponible, des autonomies d'environ 200...300 km sont possibles dans les limites de la capacité de résistance des châssis des véhicules. [17],[94], [95], [96] Pour les entreprises qui ont de courtes interruptions d'activité en raison d'un trafic nocturne important et de fortes pointes au petit matin, le temps de recharge disponible est réduit en conséquence. Cela conduit à des courants de charge plus élevés et donc à la nécessité d'une infrastructure de charge plus puissante avec une connexion performante au réseau et, finalement, à une durée de vie plus courte des batteries.	Comme pour les codes de la route, le poids total autorisé et la charge à l’essieux ne doivent pas dépasser certaines valeurs, la charge des voyageurs étant calculée avec de 6 à 8 voire plus, voyageurs par m2, le poids des batteries entraîne une baisse du nombre de voyageurs autorisés, mais en fait sans conséquences quand on veut offrir un confort acceptable de 4 voyageurs/m2

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

37	**3.2.5.3 Gelegenheitslader** Gelegenheitsladung (opportunity-charging) bedeutet, dass der Energiespeicher nicht nur in den Betriebspausen im Betriebshof nachgeladen wird, sondern auch an den Endhaltestellen bzw. an Haltestellen mit längeren Wartezeiten. Auch Systeme zur Schnellladung sind bereits in der Erprobung bzw. im Praxiseinsatz. Die Vorteile hierbei sind, dass bei richtiger Dimensionierung des Energiespeichers eine deutlich größere Reichweite möglich ist oder der Energiespeicher kleiner ausgelegt werden kann. In Beispielprojekten wurden Speicher zwischen 60 und 160 kWh auf den Fahrzeugen installiert [95]. Damit können pro Tag Reich-weiten bis etwa 300 km erreicht werden. Die Ladeleistungen sind höher gegenüber der „Übernachtladung“ im Depot und kann induktiv (bis zu 200 kW) oder konduktiv über Pantograph (bis zu 500 kW) erfolgen [94], [95]. Nachteilig bei diesem Konzept ist der Bedarf an zusätzlicher Ladeinfrastruktur im Liniennetz (Gleichrichterstation und Übertragungstechnik), der mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Betriebserfahrungen aus bereits realisierten Projekten zeigen, dass diese Technik für Netze mit mittleren Verkehrsaufkommen und ausreichend langen Wendezeiten an Endhaltestellen geeignet ist. [18] [19] Der in Kapitel 3.2.4 erwähnte HObus kann auch als spezielle Form des Gelegenheitsladers aufgefasst werden, da er die nur abschnittsweise verfügbare Fahrleitung zur Nachladung des Speichers nutzt.	3.2.5.3 Charge occasionnelle (NDT : biberonnage) La recharge occasionnelle (ou d'opportunité) (NDT : biberonnage) signifie que le dispositif de stockage d'énergie n'est pas seulement rechargé pendant les pauses au dépôt, mais aussi aux terminus ou aux arrêts avec des temps d'attente plus longs. Des systèmes de charge rapide sont également déjà testés ou utilisés dans la pratique. Les avantages sont qu'avec un dimensionnement correct de l'unité de stockage d'énergie (NDT : la batterie) , une autonomie nettement plus grande est possible ou bien l'unité de stockage d'énergie NDT :la batterie) peut être conçue plus petite. Dans le cadre de projets, des unités de stockage (NDT : batteries) de 60 à 160 kWh ont été installées sur des véhicules [95]. Cela signifie que des autonomies allant jusqu'à 300 km peuvent être atteintes par jour. Les puissances de charge sont plus élevées que pour la "charge de nuit" dans le dépôt et peuvent être inductives (jusqu'à 200 kW) ou conductrices via le pantographe (jusqu'à 500 kW) [94], [95]. Un inconvénient de ce concept est la nécessité d'une infrastructure de charge supplémentaire sur les lignes (sous-station de redressement et technologie de transfert), qui est associée à des coûts supplémentaires. L'expérience acquise dans le cadre de projets déjà mis en œuvre montre que cette technologie convient aux réseaux dont le volume de trafic est moyen et dont les temps de stationnement aux terminus sont suffisamment longs. [18] [19] Le trolleybus IMC mentionné au chapitre 3.2.4 peut également être considéré comme une forme particulière de charge occasionnelle, car il utilise la ligne aérienne de contact, qui n'est disponible que par sections, pour recharger l'accumulateur.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

38	**3.2.5.4 Elektrobusse mit punktueller nicht automatisierter Nachladung** Steckerbasiert nachzuladende Fahrzeuge können als Depotlader oder Gelegenheitslader betrieben werden. Jedoch sind sie für Schnellladekonzepte aufgrund der limitierten, übertragbaren Leistungen ungeeignet. Typische, heute verfügbare Ladestationen können Leistungen DC zwischen 90 kW und 170 kW (typischerweise 600V/150A, 400V/250A oder 400V/425A) übertragen [76]. Die Ladegeräte können bei diesem Konzept entweder fahrzeugseitig mitgeführt werden oder in den externen Ladegeräten untergebracht werden. Letztgenannte Ladegeräte werden normalerweise an 400 V Drehstrom angeschlossen. In [79] wird darauf hingewiesen, dass das Nachladen mit Steckern grundsätzlich nicht manipulationssicher ist und bei fehlender Verriegelung durch Dritte unterbrochen werden kann (allerdings besteht keine Gefährdungsgefahr). Steckerbasierte Lösungen lassen sich nicht automatisieren. Zudem unterliegen die Ladekabel einem erhöhten Verschleiß und sie sind, wenn die Stecker gekühlt werden müssen (wenn hohe Ladeleistungen vorgesehen sind), sehr schwer.	3.2.5.4 Bus électriques à recharge ponctuelle non automatique Les véhicules avec recharge par prise peuvent être utilisés en recharge en dépôt ou occasionnelle. Cependant, ils ne conviennent pas aux concepts de charge rapide en raison de leur capacité de transfert limitée. Les stations de charge typiques disponibles aujourd'hui peuvent transférer une puissance continue entre 90 kW et 170 kW (généralement 600V/150A, 400V/250A ou 400V/425A) [76]. Avec ce concept, les chargeurs peuvent soit être implantés à bord du véhicule, soit être logés dans des stations de charge externes. Ces dernieres sont normalement connectés à un courant triphasé de 400 V. Dans [79], il est souligné que la recharge avec des prises n'est généralement pas sûre pour la manipulation et peut être interrompue par des tiers si la fiche n'est pas verrouillée (il n'y a cependant pas de danger). Les solutions à base de prises ne peuvent pas être automatisées. En outre, les câbles de charge sont soumis à une usure accrue et sont très lourds si les prises doivent être refroidies (si des capacités de charge élevées sont prévues).	
38	**3.2.6 Gefäßgrößen** Nachfolgend werden für einen Single 12-m-Bus, einen Gelenkbus, einen Doppelgelenkbus und einen Doppelstockbus Angaben zu deren ungefähren Sitz- und Stehplatzkapazitäten (für 4 bis 6 Personen/m²) laut verschiedener Hersteller und der Gesamtplatzanzahl im Betrieb getroffen. Dabei variieren die Angaben je nach Hersteller und dienen daher nur als Orientierungsgröße. Für die Berechnung spezifischer wirtschaftlicher Größen wird mit dem Wert der Gesamtplatzkapazität gerechnet (letzte Zeile der Tabelle 3-8). Für den Doppelgelenkbus wird ein zusätzlicher Wert von 156 Plätzen für die Berechnung der spezifischen Annuität zu Grunde gelegt.	3.2.6 Taille des véhicules Pour un autobus simple de 12 mètres, un autobus articulé, un autobus bi articulé et un autobus à étage, nous indiquons ci-après le nombre approximatif de places assises et debout (pour 4 à 6 personnes/m²) selon les différents constructeurs et le nombre total de places en service. Les informations varient d'un constructeur à l'autre et ne sont donc données qu'à titre indicatif. Pour le calcul des valeurs économiques spécifiques, le nombre total de places est utilisé (dernière ligne du tableau 3-8). Pour le bus à double articulation, une valeur supplémentaire de 156 places est prise comme base de calcul de l'annuité spécifique. Ci-dessous les valeurs de la dernière ligne du tableau non reproduit Bus 12 m :70, bus articulé : 99, Bus biarticulé : 130, Bus à étage : 80 - 113	Les valeurs de capacité des bus articulés et biarticulés sont un peu faibles. A 4 personnes debout par m2, on peurt considérer : Bus 12 m : 70 Bus 18 m : 110 Bus 24 m :150 A noter que du fait de l'absence de compartiment moteur, les trolleybus ont une capacité d'environ 8% supérieure à celle des bus Diesel

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

39	Es ist zu erkennen, dass der Doppelgelenkbus eine erheblich größere Fahrgastkapazität gegenüber allen anderen Gefäßgrößen besitzt. Das Verhältnis des Aufwands Fahrer/Fahr-gästen ist somit günstiger. Dies wird erkauft durch einzelne Nachteile: - großer Wendekreis bzw. eingeschränkte Manövrierfähigkeit im öffentlichen Straßenraum (damit Einschränkung der betrieblichen Einsatzfähigkeit bei Umleitungen, Festlegung auf bestimmte Strecken u.Ä.), - Werkstätten müssen speziell zugeschnitten werden (längere Arbeitsstände, Anordnung von Arbeitsständen ist nur im Durchlaufverfahren möglich, Anpassung von Kurvenradien), - für den Betrieb von Doppelgelenkbussen ist eine Ausnahmegenehmigung erforderlich (StVZO. B. III §34) Der Doppelstockbus hat betriebliche Einschränkungen, die durch seine Höhe bestimmt sind, z.B. die Durchfahrt durch Brücken. Die Kompatibilität des Oberleitungs-Doppelstockbusses mit Fahrleitungen wird in Kapitel 3.4.6.2.3 betrachtet.	On peut constater que le bus à double articulation a une capacité en voyageurs considérablement plus importante par rapport à toutes les autres tailles de véhicules. Le rapport conducteur/voyageur est donc plus favorable. Cela est au prix de désavantages individuels : - Grand rayon de braquage d'où manœuvrabilité limitée dans l'espace de la voie publique (limitant ainsi la capacité opérationnelle de déviation, limitée à certains itinéraires, etc,) - Les ateliers doivent être spécialement adaptés (postes de travail plus longs, disposition des postes de travail possible uniquement en flux traversant (NDT : pas de marche arrière), adaptation des rayons de courbes), - une dérogation est nécessaire pour l'exploitation des autobus à double articulation (StVZO. B. III §34). Le bus à étage a des restrictions d'exploitation déterminées par sa hauteur, par exemple pour le passage des ponts. La compatibilité de l'autobus à étage avec les lignes aériennes est examinée au chapitre 3.4.6.2.3.	Concernant le grand rayon de braquage, argumentation très discutable, un biarticulé passant là où un articulé passe.
42	**3.3.2 Speichertechnologie für Traktionsanwendungen**	3.3.2 Technologies de stockage pour les applications de traction	
42	Gegenüber dem orange dargestellten, konventionellen Dieselgeneratorsatz zeigt sich, dass die spezifische Energie aller alternativen Speichertechnologien um Zehnerpotenzen niedriger ist. Daraus folgt, dass batteriegestützte Antriebe prinzipiell schwerer als Dieselfahrzeuge mit vergleichbarer Reichweite sind.	Par rapport au groupe électrogène Diesel conventionnel indiqué en orange (NDT figure non reproduite), l'énergie spécifique de toutes les technologies alternatives de stockage est inférieure de dizaines de pour cent. Il s'ensuit que les véhicules à batterie sont en principe plus lourds que les véhicules Diesel d'une autonomie comparable.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

44	Super-Caps sind als reine Traktionsenergiespeicher aufgrund der viel zu geringen Energiedichten ungeeignet. Jedoch bieten sie Potenziale, in Kombination mit Batterien, deren begrenzte Leistungsdichten zu kompensieren. Die NiMH-Batterien werden besonders in Mild- und Full-Hybrid Fahrzeugen eingesetzt. Aufgrund deutlich größerer Energiedichten, der spezifischen Leistung, der Möglichkeit zur Schnellladung und deutlich verringerter Selbstentladungsraten werden heute aber im Hybrid- und Elektrofahrzeugsektor Li-Ionen Akkus verwendet. Li-Ionen-Batterien werden als Hochenergiebatterien und Hochleistungsbatterien hergestellt (siehe Abbildung 3-7). Während für rein elektrische Fahrzeuge eine hohe Energiedichte zur Erzielung großer Reichweiten wesentlich ist, sind für Hybridfahrzeuge hohe Leistungsdichten zur Erzielung hoher Beschleunigungsvorgänge und zur schnellen Speicherung von großen Anteilen der Bremsenergie bedeutend.	Les Super-Capacités ne conviennent pas comme seul dispositifs de stockage de l'énergie de traction en raison de leur densité énergétique beaucoup trop faible. Cependant, la combinaison avec les batteries, offre la possibilité de compenser leurs densités de puissance limitées. Les batteries NiMH sont utilisées en particulier dans les véhicules hybrides légers (NDT : en fait, c'est un récupérateur d'énergie de freinage, le véhicule ne pouvant pas se déplacer en mode électrique pur) et complets (NDT le véhicule peut se déplacer en mode électrique, moteur thermique arrêté). Mais, en raison de densités énergétiques nettement plus élevées, de la puissance spécifique, de la possibilité de chargement rapide et de taux d'autodécharge nettement réduits, les batteries Li-ion sont aujourd'hui utilisées dans le secteur des véhicules hybrides et électriques. Les batteries Li-Ion sont fabriquées en tant que batteries à haute énergie et à haute performance (voir figure 3-7). Alors qu'une densité énergétique élevée est essentielle pour les véhicules purement électriques pour obtenir de grands rayons d'action, des densités d'énergie élevées sont importantes pour les véhicules hybrides afin d'obtenir une forte accélération et un stockage rapide de grandes proportions d'énergie de freinage.	
47	Üblicherweise werden Li-Batterien in einem Betriebsfenster zwischen 30% und 70% des SoC betrieben, um so ein Überladen bzw. zu tiefes Entladen zu vermeiden, welches signifikanten Einfluss auf die Länge der Lebensdauer hat.	Habituellement, les batteries au Lithium fonctionnent dans une plage de fonctionnement où l'état de charge est compris entre 30 et 70 % (NDT : de la charge maximale) pour éviter la surcharge ou la décharge excessive, ce qui a un impact important sur la durée de vie de la batterie.	
55	**3.4 Elektrische Infrastruktur**	3.4 Infrastructure électrique	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

55	**3.4.2 Wahl des Spannungssystems**	3.4.2 Choix de la tension	
55	Genormte Spannungsebenen nach EN 50163 und EN 50502 sind Nennspannungen von 600 V und 750 V Gleichspannung (siehe Tabelle 3-12). Die Normen erlauben gegenüber sonstigen Energieversorgungsnetzen relativ hohe Toleranzen in der Spannungshöhe, das heißt, die Fahrzeuge müssen für einen weiten Schwankungsbereich der Spannung ausge-legt werden. Die Toleranz nach unten ist erforderlich, weil sich Fahrzeuge bewegen und über den Weg vom Unterwerk zum Fahrzeug ein Spannungsabfall zu verzeichnen ist. Dieser steigt, je weiter man sich von der Einspeisung des Gleichrichters in die Fahrleitung entfernt. Eine größere Toleranz erlaubt längere Speiseweiten und damit eine Begrenzung der Investitionen in Unterwerke. Die Toleranz nach oben ist erforderlich, damit bremsende Fahrzeuge die verfügbare Leistung mit einer brauchbaren Reichweite in das Fahrleitungsnetz zurückspeisen können.	Les niveaux de tension normalisés selon les normes EN 50163 et EN 50502 sont des tensions nominales de 600 V et 750 V CC (voir tableau 3-12). Les normes autorisent des tolérances relativement élevées en ce qui concerne le niveau de tension par rapport aux autres systèmes d'alimentation électrique, c'est-à-dire que les véhicules doivent être conçus pour une large gamme de fluctuations de tension. La tolérance à la baisse est nécessaire parce que les véhicules sont en mouvement et qu'une chute de tension se produit sur le trajet entre la sous-station et le véhicule. Cela augmente plus on s'éloigne du point d'alimentation de la ligne aérienne. Une plus grande tolérance permet de plus longues distances du point d'alimentation et limite ainsi l'investissement dans les sous-stations. La tolérance vers le haut est nécessaire pour que les véhicules en freinage puissent réinjecter le courant disponible dans le réseau de lignes aériennes et que ce courant de récupération puisse être utilisé à une certaine distance	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

<table>
<tr>
<td>56</td>
<td>Straßenbahn- und Obus-Netze wurden über viele Jahrzehnte fast ausschließlich mit einer Nennspannung von 600 V DC betrieben. In den letzten Jahren stellen immer mehr Betriebe auf 750 V DC um, weil dies Vorteile hinsichtlich Speiseweiten, Kurzschlusserkennbarkeit und Verringerung thermischer Verluste bringt. Es wird daher empfohlen, in Spandau von vornherein eine Nennspannung von 750 V DC zu verwenden. Eine noch höhere Nennspannung zu verwenden hätte den Nachteil, dass dann keine normierten Komponenten am Markt verfügbar wären.

Tabelle 3-12: Auszug aus EN 50163 (Tabelle 1) mit den für Obus-Systeme üblichen Nennspannungen und deren Toleranzgrenzen. An der unteren Toleranz-grenze wird bei diesen beiden Nennspannungen nicht zwischen Dauer- und Kurzzeitwerten unterschieden.

<table>
<tr><th>Niedrigste nichtpermanente Spannung U_{min2}</th><th>Niedrigste Dauerspannung U_{min1}</th><th>Nennspannung U_N</th><th>Höchste Dauerspannung U_{max1}</th><th>Höchste nichtpermanente Spannung U_{max2}</th></tr>
<tr><td>400 V</td><td>400 V</td><td>600 V</td><td>720 V</td><td>800 V</td></tr>
<tr><td>500 V</td><td>500 V</td><td>750 V</td><td>900 V</td><td>1 000 V</td></tr>
</table>
</td>
<td>Pendant de nombreuses décennies, les réseaux de tramways et de trolleybus ont été exploités presque exclusivement avec une tension nominale de 600 V CC. Ces dernières années, de plus en plus d'exploitations sont passées à 750 V CC car cela offre des avantages en termes de distance de l’alimentation, de détection des courts-circuits et de réduction des pertes thermiques. Il est donc recommandé d'utiliser une tension nominale de 750 V CC à Spandau dès le départ. L'utilisation d'une tension nominale encore plus élevée aurait l'inconvénient qu'aucun composant normalisé ne serait alors disponible sur le marché.

Tableau 3-12 : Extrait de la norme EN 50163 (tableau 1) avec les tensions nominales habituelles pour les systèmes de trolleybus et leurs limites de tolérance. À la limite inférieure de tolérance, aucune distinction n'est faite entre les valeurs continues et de courte durée pour ces deux tensions nominales.

<table>
<tr><th>Plus basse tension non permanente</th><th>Plus basse tension permanente</th><th>Tension nominale</th><th>Plus haute tension permanente</th><th>Plus haute tension non permanente</th></tr>
<tr><td>Niedrigste nichtpermanente Spannung U_{min2}</td><td>Niedrigste Dauerspannung U_{min1}</td><td>Nennspannung U_N</td><td>Höchste Dauerspannung U_{max1}</td><td>Höchste nichtpermanente Spannung U_{max2}</td></tr>
<tr><td>400 V</td><td>400 V</td><td>600 V</td><td>720 V</td><td>800 V</td></tr>
<tr><td>500 V</td><td>500 V</td><td>750 V</td><td>900 V</td><td>1 000 V</td></tr>
</table>
</td>
<td>Une tension plus élevée (1500 V CC, normalisée et largement utilisée en ferroviaire) est prévue pour les lignes de tram de Tel Aviv, permettant d’espacer plus les sous-station et de diminuer les pertes en ligne. Après, il faut voir si pour le trolleybus, sortir de produits sur étagère est rentable ou non</td>
</tr>
<tr>
<td>56</td>
<td>3.4.3 Unterwerke
Unterwerke entnehmen Elektroenergie aus dem öffentlichen Versorgungsnetz der Mittelspannungsebene, also Dreiphasenwechselspannung 10…30 kV mit Netzfrequenz 50 Hz. Sie wandeln die Spannungshöhe und wandeln Wechselspannung in Gleichspannung. Sie speisen die Energie dann über Speiseleitungen in das Fahrleitungsnetz ein (Nennspannungen in der Regel 600 V oder 750 V Gleichspannung). Auf beiden Seiten, zum Versorgungsnetz und zum Fahrleitungsnetz, gibt es Schaltanlagen zur Trennung des Unterwerks von den Netzen.</td>
<td>3.4.3 Sous-stations
Les sous-stations tirent l’énergie électrique du réseau public d'alimentation au niveau de la moyenne tension, c'est-à-dire une tension alternative triphasée de 10...30 kV avec une fréquence de réseau de 50 Hz. Elles convertissent le niveau de tension et transforment la tension alternative en tension continue. Elles alimentent ensuite le réseau de lignes aériennes en énergie par des lignes d'alimentation (tensions nominales généralement 600 V ou 750 V DC). De part et d'autre, réseau d'alimentation et réseau de lignes aériennes, il y a des appareillages de commutation pour séparer la sous-station des réseaux.</td>
<td></td>
</tr>
</table>

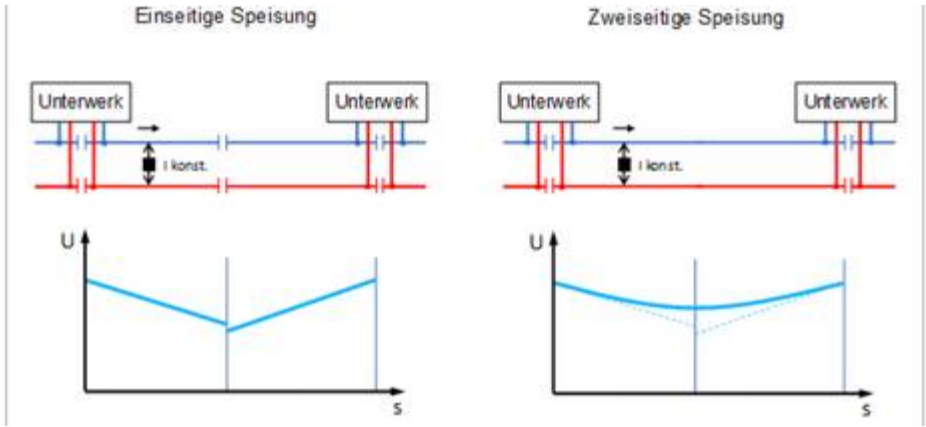
Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

57	Unterwerke können zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit und/oder der Redundanz mehrere Transformator-Gleichrichter-Einheiten besitzen. (…) Die Einspeisung in das Fahrleitungsnetz erfolgt mit einer Spannung von 10…20 % oberhalb der Nennspannung. Man nutzt hierbei die zulässige Toleranz (siehe Tabelle 3-12) aus, um durch die höhere Spannung die Ströme und damit die Verluste zu verringern. Die umgekehrte Energierichtung, also die Übertragung von rückgespeister Bremsenergie der Fahrzeuge durch das Unterwerk in das öffentliche Versorgungsnetz, wird nur extrem selten angewandt. Ein bidirektionaler Gleich- bzw. Wechselrichter ist sehr viel teurer als ein einfacher monodirektionaler Gleichrichter und die zurückübertragene Energie wäre nur sehr gering, weil es im Fahrleitungsnetz oft genug Energie abnehmende Fahrzeuge gibt. Durch einen hohen Netzvermaschungsgrad und zusätzliche Energiespeicher im Gleichspannungsnetz lässt sich ein hoher Ausnutzungsgrad rekuperierter Energie erreichen. Das Unterwerk enthält Steuer- und Schutzfunktionen, um bei Fehlerzuständen (z.B. Kurzschluss), Überlastung oder bei Arbeiten eine Abschaltung vorzunehmen.	Les sous-stations peuvent avoir plusieurs unités de transformation-redressement pour augmenter la performance et/ou la redondance. (…..) L'alimentation du réseau de lignes aériennes est réalisée avec une tension de 10...20 % supérieure à la tension nominale. La tolérance admissible (voir tableau 3-12) est utilisée ici pour réduire les intensités et donc les pertes grâce à la tension plus élevée. En sens inverse de l'énergie, c'est-à-dire le transfert de l'énergie de freinage régénérée par les véhicules à travers la sous-station vers le réseau d'alimentation public, n'est utilisé que très rarement. Un redresseur ou un onduleur bidirectionnel est beaucoup plus coûteux qu'un simple redresseur monodirectionnel, et l'énergie retransférée serait très faible car il y a souvent suffisamment de véhicules dans le réseau électrique qui consomment de l'énergie. Un degré élevé de maillage du réseau et des dispositifs de stockage de l'énergie supplémentaire dans le réseau du trolleybus permettent d'atteindre un degré élevé d'utilisation de l'énergie récupérée. La sous-station contient des fonctions de contrôle et de protection pour mise à l'arrêt en cas de défauts (par exemple, court-circuit), de surcharge ou pendant les travaux.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

57	3.4.4 Konfiguration des Fahrleitungsnetzes Ein Obus-Fahrleitungsnetz besteht in seiner Grundform aus zwei parallelen Fahrdrähten, die gegeneinander und gegen Erde isoliert sind. Eine Erweiterung aus Gründen der mechanischen Tragfähigkeit (Kettenwerk) oder elektrischen Belastbarkeit (parallele Verstärkungsleitungen) ist möglich. Die Konfiguration des Netzes soll neben der Hauptaufgabe, den Energietransfer zu und zwischen den Fahrzeugen zu gewährleisten, zwei Aufgaben erfüllen: · Selektivität im Fehlerfall, · geringe Übertragungsverluste. Selektivität bedeutet, dass im Fall eines Fehlers wie Kurzschluss oder Beschädigung ein möglichst kleiner Teil des Netzes betroffen ist. Am einfachsten wäre dies mit einer möglichst kleinteiligen Zerlegung des Netzes in voneinander isolierte Abschnitte zu erreichen. Die Senkung von Übertragungsverlusten ist dagegen zu erreichen, wenn möglichst viele Leiter parallelgeschaltet werden, also beispielsweise die Leiter gleicher Polarität beider Fahrtrichtungen („Querkupplung“). Das bedeutet dann aber, dass im Fehlerfall beide Fahrtrichtungen abgeschaltet werden.	3.4.4 Configuration du réseau de ligne aérienne Un réseau de lignes aériennes de trolleybus se compose, dans sa forme de base, de deux fils de contact parallèles, qui sont isolés l'un de l'autre et de la terre. Une augmentation (NDT de la section des câbles) pour des questions de résistance mécanique (suspension caténaire) ou électrique (fils de renforcement parallèles (NDT : dits Feeders)) est possible. La configuration du réseau devrait remplir deux tâches en plus de la tâche principale qui consiste à assurer le transfert d'énergie vers et entre les véhicules : · Sélectivité en cas de défaut (NDT : mise hors service des seuls équipements concernés par le défaut, les autres continuant à fonctionner), · de faibles pertes de transmission. La sélectivité signifie qu'en cas de défaut tel qu'un court-circuit ou un dommage, la plus petite partie possible du réseau est affectée. Le moyen le plus simple d'y parvenir serait de diviser le réseau en sections aussi petites que possible et isolées les unes des autres. D'autre part, les pertes de transmission peuvent être réduites si le plus grand nombre possible de conducteurs sont connectés en parallèle, par exemple des conducteurs de même polarité dans les deux sens de circulation ("couplage croisé"). Cela signifie toutefois qu'en cas de panne, les deux sens de circulation sont hors tension.	Dans certains réseaux, le fil – (moins) est mis à la terre. Une suspension dite « caténaire » consiste à avoir un câble porteur supportant le câble d’alimentation sous lequel vient glisser le frotteur du trolleybus, pour éviter l’effet de ventre dû au poids du câble entre deux poteaux de suspension. Peu utilisé dans des installations trolleybus modernes du fait de sa forte intrusion visuelle

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

58	Ausgeführte Anlagen werden in der Mehrzahl mit Querkupplung und zweiseitiger Speisung gebaut. Die Trennung der Fahrleitungsabschnitte findet in Unterwerksnähe statt. Das Prinzip zeigt Abbildung 3-21. Man unterscheidet bei der Speisung eines Fahrleitungsabschnitts zwischen · einseitiger Speisung (Unterwerk speist an einem Ende ein, das andere Abschnittsende ist isoliert) und · zweiseitiger Speisung. Dabei wird der Fahrleitungsabschnitt wird von zwei Seiten gespeist, es befinden sich Unterwerke an seinen beiden Enden. Dies hat deutliche Vorteile für die Spannungshaltung und die Senkung der Übertragungsverluste, weil sich die Ströme auf zwei Wege aufteilen. Jedoch muss Sorge getragen werden, dass im Bedarfsfall beide Unterwerke abschalten. Siehe auch Abbildung 3-20.	La majorité des installations sont construites avec un couplage transversal et une alimentation aux deux extrémités. Les sections de ligne aérienne sont séparées à la sous-station. Le principe est illustré à la figure 3-21. Lors de l'alimentation d'un tronçon de ligne aérienne de contact, on fait une distinction entre · l'alimentation unilatérale (la sous-station alimente une extrémité, l'autre extrémité de la section est isolée) et · l'alimentation bilatérale. La section de ligne aérienne est alimentée des deux côtés, il y a une sous-station à chaque extrémité. Cela présente des avantages évidents pour le maintien de la tension et la réduction des pertes en ligne, car les courants arrivent par deux chemins. Toutefois, il faut veiller à ce que les deux sous-stations s'effacent en même temps si nécessaire. Voir aussi le schéma 3-20.	
58	 Einseitige Speisung : alimentation unilatérale Zwieiseitige Speisung : alimentation bilatérale Unterwerk : sous-station i konst : intensité constante Abbildung 3-20: Gegenüberstellung von einseitiger Speisung und zweiseitiger Speisung, oben prinzipielle Anordnung, unten Spannung über Weg bei Konstant-strom über der Strecke Figure 3-20 : Comparaison entre l'alimentation unilatérale et l'alimentation bilatérale, en haut : organisation de principe, en bas : tension sur la ligne avec un courant constant sur la ligne		

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

59

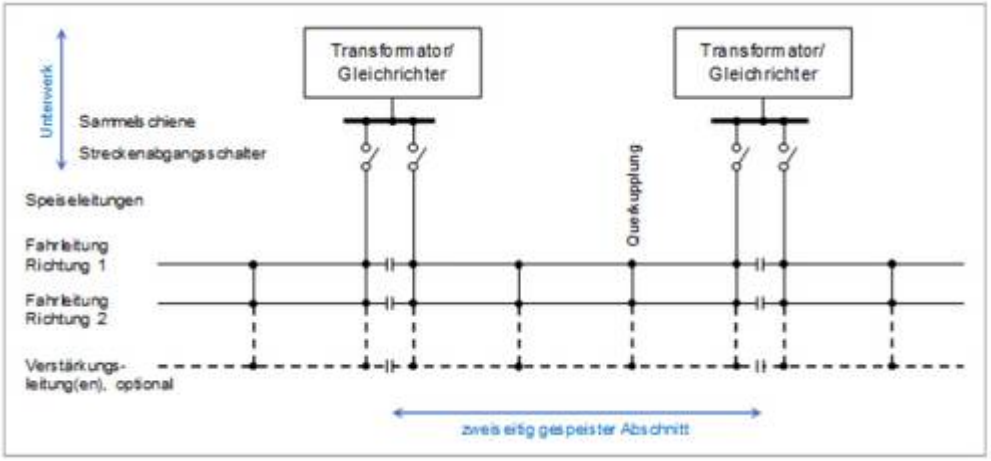


Abbildung 3-21: Üblicherweise gewählte Konfiguration der Fahrleitung mit Streckentrennung vor dem Unterwerk, zweiseitiger Speisung und Querkupplung. Optional ist die Parallelführung der Verstärkungsleitung(en). Alle Linien sind zweipolig (Plus/Minus) zu verstehen.

Figure 3-21 : Configuration généralement choisie de la ligne aérienne de contact avec séparation des sections devant la sous-station, alimentation des deux côtés et couplage transversal. Les feeders parallèles de renforcement de l'alimentation sont en option. Toutes les lignes sont bipolaires (plus/moins).

Unterwerk : sous-station

Sammellschiene : barre collectrice

Steckenabgangsschalter : interrupteur d'alimentation de la ligne aérienne

Transformator/Gleichrichter : Transformateur/Redresseur

Speiseleitungen : lignes aériennes d'alimentation

Fahrleitung Richtung : Ligne aérienne direction

Vestärkungsleitungen optional : Feeders d'alimentation (en option)

Zweiseitiggespeiter Abschnitt : section avec alimentation des 2 côtés

Querkuplung : connexion transversale de mise en parallèle

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

59	Bei zweiseitiger Speisung sind die Aufwendungen für die Kurzschlusserkennung höher, denn es muss sichergestellt werden, dass ein Abschnitt mit Kurzschluss an beiden Enden abgeschaltet wird. Die Hochstromauslösung des Streckenabgangsschalters eines Unterwerks vermag jedoch einen Kurzschluss am anderen Ende des Abschnitts oft nicht zu erkennen. Deshalb werden sogenannte Mitnahmeschaltungen eingerichtet. Wenn ein Schalter auslöst, wird über Fernwirktechnik auch der andere Schalter ausgeschaltet.	En cas d'alimentation des deux côtés, les dépenses liées à la détection des courts-circuits sont plus élevées, car il faut s'assurer qu'une section présentant un court-circuit est déconnectée aux deux extrémités. Cependant, le dispositif déclencheur du disjoncteur d'alimentation d'une sous-station d'une section n'est souvent pas en mesure de détecter un court-circuit à l'autre extrémité de la section. Pour cette raison, des circuits dits de télédéclenchement (NDT : pas certain que cela soit la bonne traduction de Mitnahmeschaltungen) sont mis en place. Si un disjoncteur se déclenche, l'autre disjoncteur est également déclenché par la technologie de télécontrôle.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

59	**3.4.5 Isolationsfehler und Erdung** **(...)** Bei Obus-Fahrleitungs-Systemen sind beide Fahrdrähte isoliert in der Luft geführt. Damit sind sowohl Streuströme, als auch der Abgriff eines gefährdenden Potenzials, nur im Fehlerfall möglich (unter der Voraussetzung, dass sich Personen nicht der Fahrleitung nähern). Eine absichtliche häufige starre Erdung eines der beiden Fahrleitungspole entlang des Weges ist zur Vermeidung von Streuströmen nicht möglich, dennoch treten Erdverbindungen, gewollt und ungewollt, praktisch auf. Die Gefährdungsfälle hängen von der Art der Erdverbindung ab: · Ungewollte punktuelle Verbindung Fahrleitung – Erde oder Fahrleitung – Fahrzeuggehäuse, z.B. durch Funktionsverlust eines Isolators Solange es bei einer einzigen punktuellen Verbindung bleibt, besteht keine Gefahr. Allerdings bleibt die Verbindung oft lange unbemerkt. Dann besteht das Risiko, dass früher oder später eine zweite Fehlerstelle entsteht. Es entsteht in jedem Falle ein Streustrom, der zu gefährlichen Korrosionswirkungen führen kann. Des Weiteren ist es möglich, dass bei räumlicher Nähe der Fehlerstellen eine Potenzialdifferenz abgegriffen werden kann. Deshalb ist es nötig, dass Isolationsmessungen durchgeführt werden, um bereits den ersten Fehler zu beseitigen. Hinsichtlich der Infrastruktur kann dies in festzulegenden Intervallen erfolgen. Auf dem Fahrzeug muss die Isolations-messung permanent aktiv sein, da sich im Fahrzeug viele Menschen befinden und das Risiko zu hoch ist, dass Fehler unmittelbar zur Gefährdung von Perso-nen führen. Am gefährlichsten ist hier eine Potenzialdifferenz zwischen Erde und Fahrzeugkasten. Deshalb ist bei Ansprechen der Isolationsüberwachung das Fahrzeug von der Fahrleitung zu trennen und ggf. zu räumen. Um bereits die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Isolationsfehlers auf dem Fahrzeug zu mindern, ist eine doppelte Isolation gefordert (siehe EN 50502).	3.4.5 Défauts d'isolement et mise à la terre (...) Dans les systèmes de lignes de contact des trolleybus, les deux fils de contact sont isolés dans l'air. Cela signifie que tant les courants vagabonds que le contact avec un potentiel dangereux ne sont possibles qu'en cas de défaut (à condition que les personnes ne s'approchent pas de la ligne aérienne de contact). La mise à la terre permanente, fréquente et intentionnelle d'un des deux fils de la ligne aérienne le long du trajet n'est pas possible dans le but d'éviter les courants vagabonds, mais les mises à la terre, intentionnelles ou non, se produisent en pratique. Les cas de danger dépendent du type de mise à la terre : - Connexion ponctuelle involontaire ligne aérienne de contact - terre ou ligne aérienne de contact - carrosserie du véhicule, par exemple en raison de la perte de fonction d'un isolant. Tant qu'il n'y a qu'un seul point de connexion, il n'y a pas de danger. Cependant, le lien reste souvent inaperçu pendant longtemps. Il y a ensuite le risque que, tôt ou tard, un deuxième point de défaillance se produise. Dans tous les cas, un courant vagabond est créé qui peut entraîner des effets de corrosion dangereux. En outre, il est possible qu'une différence de potentiel puisse se produire si les emplacements des défauts sont proches les uns des autres. Il est donc nécessaire d'effectuer des mesures d'isolation afin d'éliminer le premier défaut. En ce qui concerne l'infrastructure, cela peut être réalisé à des intervalles à préciser. Sur le véhicule, la mesure de l'isolation doit être active en permanence, car il y a de nombreuses personnes dans le véhicule et le risque est trop élevé que des défauts mettent immédiatement des personnes en danger. La situation la plus dangereuse est une différence de potentiel entre la terre et la carrosserie du véhicule. Par conséquent, si la surveillance de l'isolation réagit, le véhicule doit être déconnecté de la ligne aérienne et retiré si nécessaire. Pour réduire la probabilité qu'un défaut d'isolation se produise sur le véhicule, une double isolation est requise (voir EN 50502).	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

60	· Absichtliche dauerhafte Erdung eines Fahrdrahtpols im Unterwerk in einem Punkt Dies vereinfacht den Schutz des Personals im Unterwerk gegen gefährliche Potenzialdifferenzen und erlaubt die einfache Messung eines ungewollten Ableitstroms bzw. Isolationsfehlers. Andererseits erleichtert diese Erdung das Fließen von Ableit- und Fehlerströmen. Es genügt nun ein Isolationsfehler zu einer Gefährdung oder zum Streustrom, während ohne Erdung ein Doppelfehler nötig wäre. Der Schutz des Instandhaltungspersonals bzw. die Durchführbarkeit einer Messung kann auch erreicht werden, wenn die Erdung nur kurzzeitig hergestellt wird, also z.B., wenn eine Schutzeinrichtung eine zu hohe Potenzialdifferenz zwischen Rückleitersammelschiene und Erdpotenzial detektiert. Es kann dann sofort Instandhaltungspersonal zur Fehlersuche aktiviert werden. Wenn im Unterwerk ein Fahrdrahtpol geerdet ist, dann ist keine zweiseitige Speisung mehr möglich (siehe EN 50122-1, Kapitel 5.6.3.3), weil dann eine Erdverbindung von zwei Punkten verschiedenen Potenzials hergestellt wird. Da eine zweiseitige Speisung vorteilhaft für Spannungshaltung und Verlustvermeidung ist (siehe Kapitel 3.4.4), kann eine Erdung eines Fahrdrahtpols im Unterwerk nicht empfohlen werden.	- Mise à la terre permanente intentionnelle d'un fil de contact dans la sous-station en un seul point. Cela simplifie la protection du personnel dans la sous-station contre les différences de potentiel dangereuses et permet de mesurer facilement un courant de fuite ou un défaut d'isolement indésirables. D'autre part, cette mise à la terre facilite la circulation des courants de fuite et de défaut. Il suffit désormais qu'un défaut d'isolement entraîne un danger ou un courant vagabond, alors que sans mise à la terre, un double défaut serait nécessaire. La protection du personnel de maintenance ou la faisabilité d'une mesure peuvent également être assurées quand la mise à la terre n'est établie que pour une courte durée, par exemple quand un dispositif de protection détecte une différence de potentiel trop élevée entre le jeu de barres de retour et le potentiel de terre. Le personnel de maintenance peut alors être activé immédiatement pour le dépannage. Si un pôle de fil de contact est mis à la terre dans la sous-station, l'alimentation bilatérale n'est plus possible (voir EN 50122-1, chapitre 5.6.3.3), car une connexion à la terre est alors réalisée à partir de deux points de potentiel différent. Étant donné qu'une alimentation bilatérale est avantageuse pour le maintien de la tension et la prévention des pertes (voir chapitre 3.4.4), la mise à la terre d'un fil de contact dans la sous-station ne n’est pas recommandée.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

60	· Ungewollte Verbindung durch gemeinsame Speisung von Straßenbahn und Obus aus einem Unterwerk bei gleichzeitiger niedriger Isolation des Straßenbahngleises Letzteres ist trotz isoliertem Aufbau des Straßenbahngleises nicht grundsätzlich vermeidbar, zum Beispiel bei Regen. Es treten dann die bereits oben beschriebenen Probleme bzw. Risiken auf. Nach Möglichkeit sollten daher Obus- und Straßenbahnfahrleitung aus galvanisch getrennten Gleichrichtern gespeist wer-den. Empfohlen wird daher ein vollständig isolierter Aufbau des Gleichspannungsnetzes ohne Erdung in Verbindung mit Maßnahmen der Isolationsmessung und zur Erkennung/Vermeidung von abgreifbaren Potenzialdifferenzen. Im Gegensatz zu Schienenbahnen führen Isolationsfehler und Fahrleitungsriss selten zu Kurzschlüssen. Trotzdem müssen die Schutzeinrichtungen des Unterwerks einen Kurzschluss erkennen können, um eine Überlastung der Betriebsmittel zu verhindern (siehe Kapitel 3.7.2). Für alle Bahnen mit Fahrleitung, so auch bei Obus/HObus, definiert EN 50122-1 Räume, in denen Maßnahmen zur Verhinderung von Potenzialdifferenzen durchzuführen sind (z.B. Potenzialausgleich). Dies hat in definierten Bereichen zu geschehen: · Oberleitungsbereich (der Bereich, den eine herabfallende Fahrleitung treffen könnte, z.B. Geländer) und · Stromabnehmerbereich (der Bereich, in den ein gebrochener oder entgleister Stromabnehmer hineinragen kann, z.B. Stromabnehmer trifft einen Brückenträger über der Fahrleitung). Dies bedeutet, dass bauliche Maßnahmen auch an Objekten durchzuführen sind, die nicht zur Infrastruktur des HObus-Netzes gehören und gegebenenfalls Eigentum Dritter sein können.	- Connexion indésirable due à l'alimentation conjointe d'un tramway et d'un trolleybus à partir d'une sous-station avec une faible isolation simultanée de la voie du tramway. Ces derniers ne peuvent en principe pas être évités malgré la construction isolée de la voie de tram, par exemple en cas de pluie. Les problèmes et les risques déjà décrits ci-dessus apparaissent alors. Si possible, la ligne aérienne des trolleybus et des tramways doit être alimentée par des redresseurs séparés galvaniquement. Il est donc recommandé d'isoler complètement le réseau Courant Continu sans mise à la terre, en conjonction avec des mesures d'isolation et la détection/prévention des différences de potentiel significatives. Contrairement aux chemins de fer, les défauts d'isolation et les ruptures de ligne aérienne entraînent rarement des courts-circuits. Néanmoins, les dispositifs de protection de la sous-station doivent être capables de détecter un court-circuit afin d'éviter une surcharge de l'équipement (voir chapitre 3.7.2). Pour tous les chemins de fer avec des lignes de contact aériennes, y compris les trolleybus, la norme EN 50122-1 définit les zones dans lesquelles des mesures visant à empêcher les différences de potentiel doivent être prises (par exemple, liaison équipotentielle). Cela doit être fait dans des zones définies : - La zone de la ligne aérienne (la zone qui pourrait être touchée par la chute d'une ligne aérienne, par exemple les garde-corps) et - Zone du pantographe (la zone dans laquelle un pantographe cassé ou déraillé pourrait faire saillie, par exemple si le pantographe heurte une poutre de pont au-dessus de la ligne aérienne). Cela signifie que les mesures structurelles doivent également être réalisées sur des objets qui n'appartiennent pas à l'infrastructure du réseau trolleybus et qui peuvent être la propriété de tiers.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

61	**3.4.6 Fahrleitung und Stromabnehmer** **3.4.6.1 Grundlagen** Im Gegensatz zur Schienenbahn wird vom Obus eine gewisse seitliche Flexibilität erwartet, z.B. um andere Fahrzeuge überholen zu können. Daher ist der Stromabnehmer entweder seitlich schwenkbar (konventionelle Systeme, Abschnitt 3.4.6.2) oder er hat eine Schleifleiste mit einer gewissen Breite (Sonderbauarten, Abschnitt 3.4.6.3). Die Straßenbahn besitzt üblicherweise eine einpolige Fahrleitung; die Rückleitung erfolgt über die Schienen. Der Obus fährt dagegen auf einer nichtleitfähigen Fahrbahn. Daher muss Hin- und Rückleitung des Stroms durch eine zweipolige Fahrleitung realisiert werden. Versuchsweise gebaute Systeme mit in die Fahrbahn eingelassener Rückleitungsschiene haben sich praktisch nicht bewährt (hier wäre das Fahrzeug auch wieder streng spurge-bunden). Die zweipolige Fahrleitung des Obusses wird mit zwei parallel aufgehangenen Fahrdrähten ausgeführt. Auf Straßen, die Obus-Verkehr in beide Richtungen aufweisen, hängen also zwei Fahrdrahtpaare parallel. Die Aufhängung kann geschehen durch Maste mit Ausleger oder durch Quertragseile. Die Quertragseile werden ihrerseits an Masten oder Hauswänden befestigt.	3.4.6 Ligne aérienne de contact et prise de courant (NDT : Pantographe ou Perches) 3.4.6.1 Principes de base Contrairement aux chemins de fer, les trolleybus doivent avoir une certaine flexibilité latérale, par exemple pour pouvoir dépasser d'autres véhicules. Par conséquent, le capteur de courant peut soit pivoter latéralement (systèmes conventionnels, section 3.4.6.2), soit avoir une bande de contact d'une certaine largeur (conceptions spéciales, section 3.4.6.3). Le tramway dispose généralement d'une ligne de contact unipolaire ; le retour de courant se fait par les rails. Le trolleybus, quant à lui, circule sur une voie non conductrice. Par conséquent, la conduction aller et retour du courant doit être réalisée par une ligne de contact bipolaire. Les systèmes construits à titre d'essai avec un rail de retour encastré dans la voie ne se sont pas avérés efficaces dans la pratique (dans ce cas, le véhicule serait également strictement lié à la voie). La ligne aérienne de contact bipolaire du trolleybus est conçue avec deux fils de contact suspendus en parallèle. Sur les voies où la circulation des trolleybus se fait dans les deux sens, deux paires de fils de contact sont suspendues en parallèle. La suspension peut se faire par des poteaux avec consoles ou par des fils transversaux. Les câbles transversaux sont à leur tour fixés aux poteaux ou aux murs des maisons.	„Les systèmes construits à titre d'essai avec un rail de retour encastré“ : c’est le cas du TVR de Caen qui a fonctionné correctement en ce qui concerne l’alimenation éléctrique, le véhicule sur pneu étant équipé d’un pantographe et d’un retour traction par le rail de guidage

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

62	Die mögliche Befahrgeschwindigkeit einer Fahrleitung hängt ab von der Qualität des Stromabnehmerlaufs. Der Durchhang der Fahrleitung zwischen den Aufhängepunkten beeinflusst den Stromabnehmerlauf negativ. Bei der nicht nachgespannten Einfachfahrleitung sind Abstände der Aufhängung von ca. 30 m und kleiner erforderlich, damit der Durchhang nicht zu groß wird (bis zu 40 cm). Eine Befahrgeschwindigkeit von 40 km/h ist theoretisch möglich. Praktisch sollte man eine sol-che Bauart nur bis 25...30 km/h einsetzen, damit Materialbeanspruchung und Entgleisungsrisiko vermindert werden. Diese Fahrleitungsbauart kann daher nur da empfohlen werden, wo die Geschwindigkeit ohnehin niedrig liegt (z.B. kurvenreiche Abschnitte). Um die Zahl der Aufhängepunkte zu reduzieren und die Qualität des Stromabnehmerlaufes zu verbessern, sind zwei Maßnahmen sinnvoll: · Nachspannen des Fahrdrahtes (durch Gewicht mit Umlenkrolle oder durch Federelemente) Der maximale Abstand der Aufhängepunkte kann auf etwa 40 m erhöht werden. Befahrgeschwindigkeiten von 40...50 km/h sind möglich, wobei beim oberen Wert wiederum Materialbeanspruchung und Entgleisungsrisiko steigen. Diese Bauart ist als Standard im Stadtbereich zu empfehlen. · Anordnen eines Tragseils über dem Fahrdraht (sog. Kettenwerksfahrleitung, „Hochkette“) Der Fahrdraht kann in kurzen Abständen am Tragseil aufgehangen werden, wodurch der Fahrdrahtdurchhang signifikant reduziert wird. Die Mastabstände kön-nen dadurch vergrößert werden. Kettenwerke konnten sich beim Obus nur selten und nur außerhalb des Stadtgebietes durchsetzen, weil eine optische Beeinträchtigung des Stadtbildes befürchtet wurde.	La vitesse de déplacement possible sous une ligne aérienne de contact dépend de la qualité du contact du pantographe. L'affaissement de la ligne aérienne de contact entre les points de suspension a une influence négative sur la marche du pantographe. Avec la ligne aérienne simple non tendue (NDT : non régulée), des distances des points de suspension d'environ 30 m et moins sont nécessaires pour éviter que l'affaissement ne devienne trop important (jusqu'à 40 cm). Une vitesse de circulation de 40 km/h est théoriquement possible. En pratique, une telle conception ne devrait être utilisée que jusqu'à 25...30 km/h pour réduire les contraintes sur les matériaux et le risque de perte de contact avec la ligne aérienne. Ce type de ligne aérienne ne peut donc être recommandé que dans les endroits où la vitesse est de toute façon faible (par exemple, sections avec courbes). Pour réduire le nombre de points de suspension et améliorer la qualité captage par le pantographe, deux mesures sont utiles : · la mise en tension du fil de contact (par contre-poids avec poulie ou par ressorts) La distance maximale entre les points de suspension peut être portée à environ 40 m. Des vitesses de déplacement de 40...50 km/h sont possibles, la contrainte matérielle et le risque de perte de contact avec la ligne aérienne augmentant. Ce type de construction est recommandé comme norme dans les zones urbaines. · Mise en place d'un fil porteur au-dessus du fil de contact (appelé suspension caténaire) Le fil de contact peut être suspendu au fil porteur à de courts intervalles, ce qui réduit considérablement l'affaissement du fil de contact. Les distances entre les mâts peuvent ainsi être augmentées. Les systèmes caténaires ne pouvaient être appliqués que rarement avec le trolleybus et seulement en dehors de la zone urbaine, car on craignait une atteinte visuelle du paysage urbain.	Paragraphe ambigü qui semble ne s’appliquer qu’aux véhicules ferroviares avec pantographe · la mise en tension du fil de contact : paragraphe surprenant. En ferroviare, lorsque la ligne est tendue, la distance entre poteaux atteint 60 mètres et la vitesse peut atteindre 120 km/h. La régularisation (mise en tension par contrepoids) de la ligne aérienne étant beaucoup plus compliquée pour le trolleybus que pour le tramway, son avantage procuré par le gain de poteaux grâce à leur espacement plus important est minime. Il n’est pas fait mention du système de suspension Kummler Matter qui réalise une certaine tension du fil de contact sans recours à des contrepoids et qui est largement utilisé par des réseaux de trolleybus.

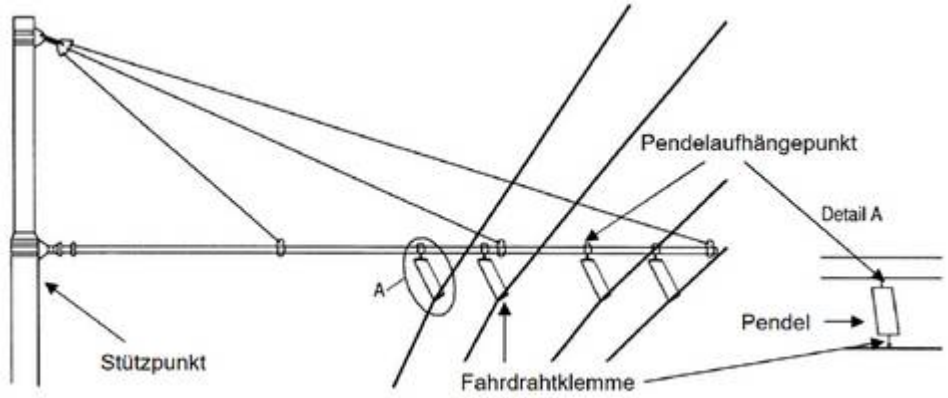
Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

62	Da Berlin bereits ein Straßenbahnnetz besitzt, ist zu empfehlen, sich bei der konkreten Ausführung an den bei der Straßenbahn der BVG bereits etablierten Fahrleitungstypen zu orientieren (unter zusätzlicher Beachtung der Profilfreiheit des Stromabnehmerschleifschuhs bei Anwendung eines konventionellen Obus-Stromabnehmers). Dies schränkt die individuellen Gestaltungsmöglichkeiten nur wenig ein und bringt Vorteile bei der Instandhaltung. Zur Verringerung des resultierenden Widerstands werden oft jeweils die Plusfahrdrähte bzw. die Minusfahrdrähte beider Fahrtrichtungen in Abständen miteinander verbunden (z.B. alle 250 m). Dies ist im Sinne der Verlustsenkung eine günstige Maßnahme, doch im Kurz-schlussfall sind dann beide Fahrtrichtungen durch gemeinsame Abschaltung betroffen. Oft reicht auch die Parallelschaltung von Hin- und Rückrichtung nicht aus, um akzeptable Widerstandsverhältnisse zu erreichen. Dann müssen Verstärkungsleitungen parallel geführt werden. Weil sichtbare zusätzliche Leiter in der Regel nicht erwünscht sind, werden diese Leitungen dann als Kabel unterirdisch geführt und in Abständen von etwa 200...300 m mit der Fahrleitung verbunden. Die Polarität der Fahrleitung ist nicht normativ vorgeschrieben. Nach EN 50119 soll im Falle eines geerdeten oder mit der Rückleitung einer Straßenbahn verbundenen Pols sich dieser außen an der Fahrbahn befinden, bei dem in Deutschland üblichen Rechtsverkehr also in Fahrtrichtung rechts. Zwar wird das geplante HObus-Netz in Spandau noch nicht vom Straßenbahnnetz berührt, doch sollte darauf geachtet werden, dass bei einer späteren Verflechtung der Netze keine Kompatibilitätsprobleme entstehen.	Comme Berlin dispose déjà d'un réseau de tramway, il est recommandé de s'orienter vers des lignes aériennes du type de celles du tramway de la BVG (NDT : l'exploitant des transports de Berlin (en tenant compte en outre de la liberté de mouvement du frotteur collecteur avec l'application de perches conventionnelles de trolleybus). Cela ne limite que légèrement les possibilités de conception individuelle et apporte des avantages en matière de maintenance. Pour réduire la résistance résultante (NDT : la résistance électrique), les fils de contact de polarité plus ou moins des deux sens de circulation sont souvent reliés régulièrement (par exemple tous les 250 m) (NDT : connexions de mise en parallèle). Cette mesure est avantageuse en termes de réduction des pertes (NDT : électriques) , mais en cas de court-circuit, les deux sens de circulation sont alors affectés par une mise hors service commune. Souvent, la mise en parallèle des 2 directions n'est pas suffisante pour atteindre des valeurs de résistance (NDT : résistance électrique la plus faible possible) acceptables. Dans ce cas, les lignes d'alimentation de renfort (NDT : feeders) doivent être connectées en parallèle. Étant donné que des conducteurs supplémentaires visibles ne sont généralement pas souhaités, ces lignes passent sous terre sous forme de câbles et sont reliées à la ligne aérienne de contact à des intervalles d'environ 200...300 m. La polarité de la ligne aérienne de contact n'est pas prescrite par les normes. Selon la norme EN 50119, dans le cas d'un pôle mis à la terre ou d'un pôle relié à la ligne de retour d'un tramway, celui-ci doit se trouver à l'extérieur de la voie, c'est-à-dire à droite dans le sens de la marche, dans le cas de la circulation à droite habituelle en Allemagne. Bien que le réseau de trolleybus IMC prévu à Spandau ne soit pas encore touché par le réseau de tramway, il convient de veiller à ce qu'aucun problème de compatibilité ne survienne si les réseaux sont imbriqués à une date ultérieure.	La recommandation d'utiliser le concept de lignes aériennes tramway de la BVG ne semble pas très pertinente.

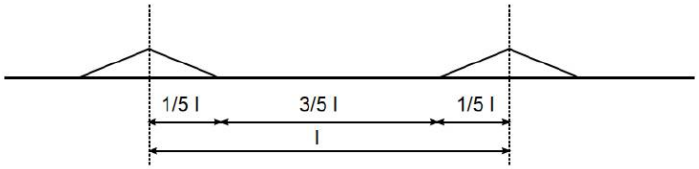
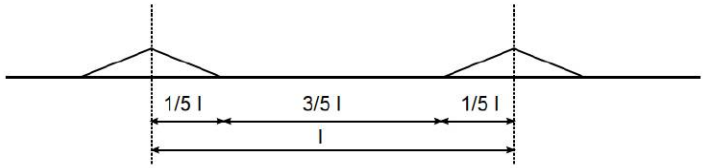
Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

63	**3.4.6.2 Konventionelle Obusfahrleitung** **3.4.6.2.1 Fahrleitungsanlage und -bauart**	3.4.6.2 Ligne aérienne conventionnelle pour trolleybus 3.4.6.2.1 Installations de ligne aérienne et conception	
	Nach [5] ist eine Fahrleitungsanlage der Oberbegriff von Stromschienenanlage, Oberleitungsanlage und Stromschienenoberleitungsanlage.	Selon [5], un système de lignes aériennes de contact est le terme générique pour un système de rails conducteurs, un système de lignes aériennes et un système de rails aériens de contact.	
63	Für Straßenbahnen und Obusse werden aus ökonomischen Erwägungen Einfachoberleitungen gewählt, insbesondere bei niedrigen Befahrgeschwindigkeiten oder wenn das Umfeld der Strecke, beispielsweise in engen Straßenzügen, den Bau einer Kettenwerksoberleitung erschwert. Bei Obus-Fahrleitungen mit Befahrgeschwindigkeiten bis 80 km/h sind Einfachoberleitungen üblich. Die Ausführung der Fahrdrahtaufhängung ist dabei ein wesentlicher Aspekt. Einfachoberleitungen weisen einige gemeinsame Merkmale auf: · Häufig werden Einfachoberleitungen fest abgespannt; auf selbsttätig die Zugkraft regulierende Nachspanneinrichtungen wird verzichtet. · Die Fahrdrahtlage und damit die Befahrgüte fest abgespannter Fahrdrähte hängen von der Umgebungstemperatur ab. Temperaturbedingte Längenänderungen des Fahrdrahtes führen zu einer Änderung der Zugkraft im Fahrdraht. Beim Anstieg der Temperatur sinkt die Fahrdrahtzugkraft ab und der Fahrdrahtdurchhang nimmt zu. · Die bei großen Durchhängen vorhandenen Änderungen der Fahrdrahthöhe und damit der Stromabnehmerarbeitshöhe führen zu einem erhöhten Verschleiß des Fahr-drahtes. Dieser ist an den Fahrdrahtaufhängepunkten besonders hoch, da hier der Stromabnehmer seine Bewegungsrichtung abrupt umkehren muss.	Pour les tramways et les trolleybus, les lignes aériennes de contact simples sont choisies pour des raisons économiques, particulièrement pour des vitesses faibles ou lorsque les environs de la ligne, par exemple dans les rues étroites, rendent la construction d'une caténaire difficile. Pour les lignes aériennes de trolleybus dont la vitesse peut atteindre 80 km/h, les lignes aériennes simples sont habituelles. Le mode de suspension du fil de contact est donc un aspect important. Les lignes de contact aériennes simples présentent certaines caractéristiques communes : · Les lignes aériennes de contact simples sont souvent fermenent ancrées ; on se dispense de dispositifs de tension automatiques pour réguler la force de traction. · La position du fil de contact et donc la qualité du captage sur des fils de contact tendus en permanence dépend de la température ambiante. Les modifications de la longueur du fil de contact liées à la température entraînent une modification de la force de traction dans le fil de contact. Lorsque la température augmente, la force de traction du fil de contact diminue et l'affaissement augmente. · Les changements de la hauteur du fil de contact qui existent lors de grands affaissement, et donc de la hauteur de travail du pantographe, entraînent une usure accrue du fil de contact. Ce phénomène est particulièrement important aux points de suspension des fils de contact, car le pantographe doit alors inverser brusquement son sens de déplacement.	On ne voit pas trop en quoi la largeur de la rue influe sur la mise en place d'une suspension caténaire Le système présenté après est le système Kummler Mater (KM). Les explications données ne sont pas claires du tout et justement la mise sous tension (régularisation par contrepoids) a pour objet d'éviter l'affaissement du fil de contact entre 2 portées suite à l'allongement du fil dû à l'élévation de température. Le dispositif Kummler Matter évite l'affaissement du fil de contact lorsque sa température s'élève, sans avoir recours à un système de tension mécanique par contrepoids, mais la igne aérienne présente un zig-zag plus ou poins prononé selon la température

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

64	 Stützpunkt : Point d'appui Fahrdrahtklemme : Pince pour fil de contact Pendelaufhangepunkt : Point de suspension du pendule Pendel : Pendule Abbildung 3-22: Prinzipieller Aufbau der Pendelaufhängung bei einer Obus-Fahrleitung, [65] Figure 3-22 : Structure principale de la suspension pendulaire d'une ligne aérienne trolleybus, [65].		
64	Bei Einfachoberleitungen kann sowohl die Befahrgüte verbessert als auch der Verschleiß verringert werden, wenn der Fahrdraht an pendelnden Aufhängungen befestigt wird. Abbildung 3-22 nach [65] zeigt eine solche Aufhängung. Eine pendelnde Aufhängung gleicht, verglichen mit einer festen Aufhängung, die Längenänderungen bei wechselnden Umgebungstemperaturen aus und verringert damit die Zugkraftänderungen. Der Durchhang einer pendelnd aufgehängten Einfachoberleitung ist bei hohen Fahrdrahttemperaturen geringer als bei einer fest aufgehängten. Der realisierbare Mastabstand bei Pendelaufhängungen liegt bei bis zu 35 m.	Dans le cas des lignes aériennes de contact simples, la qualité captage peut être améliorée et l'usure réduite si le fil de contact est fixé à des suspensions pendulaires. La figure 3-22 d'après [65] montre une telle suspension. Par rapport à une suspension fixe, une suspension pendulaire compense les variations de longueur sous l'effet des changements des températures ambiantes et réduit ainsi les variations de la force de traction. Le fléchissement d'une ligne aérienne de contact unique suspendue de manière pendulaire est plus faible à des températures élevées du fil de contact qu'avec une suspension fixe. L'espacement possible entre les poteaux pour les suspensions pendulaires peut atteindre 35 m.	Présentation du système pendulaire Kummler Matter. Il y a d'autres systèmes de suspension de la ligne aérienne trolleybus qui sont aussi largement utilisés dans le monde

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

64	Eine weitere Möglichkeit, den Fahrdraht eines Obussystems aufzuhängen, ist die Einfachfahrleitung mit Beiseil (siehe Abbildung 3-23). An den Stützpunkten werden zusätzlich Beiseile in Dreiecksform angebracht. Die Beiseile überspannen 2/5 der Fahrleitung eines Feldes. Die Art der Aufhängung hat ein sehr gutes elastisches Verhalten.  Abbildung 3-23: Einfachfahrleitung mit Beiseil, [65]	Une autre possibilité pour suspendre le fil de contact d'une ligne aérienne est la ligne de contact aérienne unique avec un câble supplémentaire (voir figure 3-23). Des câbles supplémentaires sont attachés aux points de suspension, en forme de triangle. Les cables auxiliaires couvrent les 2/5 de la ligne d'une zone. Ce type de suspension a un très bon comportement élastique.  Figure 3-23 : Ligne de contact aérienne unique avec câble auxiliaire, [65].	Cette disposition concerne le tram et pas le trolleybus
65	Nach EN 50119 soll der Abstand der beiden Fahrdrähte entweder 600 mm oder 700 mm betragen (horizontal), Lagetoleranz ±15 mm (…) Die Nennhöhe über Fahrbahn ist ebenfalls in EN 50502 festgelegt mit 5.500...5.600 mm. Die Toleranz der Extremfälle über Fahrbahn ist nicht standardisiert, doch wird in der Norm ein bevorzugter Bereich von 4.700...6.500 mm angegeben (der untere Wert korrespondiert mit BOStrab §25). (…) Übliche Fahrdrahtquerschnitte liegen bei 80...120 mm² Kupfer	Selon la norme EN 50119, la distance entre les deux fils de contact (NDT de la ligne aérienne trolleybus) doit être de 600 mm ou 700 mm (horizontalement), avec une tolérance de position de ±15 mm. (…) La hauteur nominale au-dessus de la surface de la rue est également spécifiée dans la norme EN 50502 avec 5.500...5.600 mm. La tolérance des cas extrêmes au-dessus de la surface de la route n'est pas normalisée, mais la norme spécifie une fourchette préférentielle de 4 700...6 500 mm (la valeur inférieure correspond à BOStrab §25). (NDT : BOStrab réglement allemand concernant les tramways) (…) Les sections habituelles des fils de contact sont 80...120 mm² de cuivre.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

66	**3.4.6.2.2 Stromabnehmer** Die Stromabnahme erfolgt über zwei unabhängig bewegliche Stangen, eine je Fahrdraht/Pol. Sie sind in einer Konsole auf dem Fahrzeugdach vertikal und horizontal drehbar gelagert. Federn an der Stromabnehmerkonsole bewirken eine permanente aufwärts gerichtete Kraft, die zum Heben und zum Andrücken des Schleifschuhs an den Fahrdraht dient. Am anderen Ende jeder Stange befindet sich ein Schleifschuh. Er stellt den Kontakt zum Fahrdraht her. Er ist in Form eines oben offenen U ausgebildet, um durch den Fahrdraht geführt zu werden. Der untere Bereich des U ist innen mit einem auswechselbaren Kohleschleifstück versehen, auf dem der Fahrdraht gleitet. Der Schleifschuh ist gegen die Stange drehbar gelagert, um unabhängig von der Auslenkung der Stange eine Stellung parallel zum Fahrdraht einnehmen zu können. Abbildung 3-24: Stromabnehmerkopf In der Öffnung links vorn steckt die Stromabnehmerstange. Der metallisch glänzende Teil ist der sogenannte Schleifschuh. Die seitlichen Flügel gewährleisten die Führung am Fahrdraht. Am Grund des Schuhs, zwischen den Flügeln, befindet sich ein auswechselbares Kontaktstück. Der Schleifschuh ist gegen den schwarzen Teil drehbar gelagert, so dass er dem Fahrdraht folgen kann.	3.4.6.2.2 Collecteur de courant Le courant est collecté par deux perches mobiles indépendantes l'une de l'autre, une pour chaque fil/pôle de contact. Elles sont montées sur une console sur le toit du véhicule de manière à pouvoir tourner verticalement et horizontalement. Les ressorts du support de perches fournissent une force ascendante permanente qui est utilisée pour soulever et presser le sabot du collecteur (NDT : tête de perche) contre le fil de contact. À l'autre extrémité de chaque perche se trouve un sabot collecteur. Il entre en contact avec le fil de contact. Il est conçu en forme de U ouvert en haut pour être guidé par le fil de contact. La partie inférieure du U est équipée à l'intérieur d'une bande de contact en carbone remplaçable, sur laquelle glisse le fil de contact. Le sabot en carbone est monté pour tourner sur la perche de manière à pouvoir prendre une position parallèle au fil de contact, quelle que soit la déviation de la perche. Figure 3-24 : Tête de perche La perche se loge dans l'ouverture à l'avant gauche. La partie métallique brillante est le sabot (NDT : le porte frotteur). Les ailes sur le côté permettent de guider le fil de contact. Dans le fond du prte frotteur, entre les ailes, se trouve une pièce de contact remplaçable (NDT : le frooteur). Le porte frotteur peut piviter contre la partie noire afin de pouvoir suivre le fil de contact.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

67	Um den Schleifschuhen eine Anpresskraft am Fahrdraht zu geben und um die Stromabnehmer nach einer Auslenkung wieder in die Fahrzeugachse zu holen, ist die Stromabnehmerstange neben dem Gelenk über Federn mit der Konsole verbunden. Nach EN 50119 soll die statische Kontaktkraft zwischen 70 N und 120 N liegen. Nach EN 50502 soll die Andruckfeder einstellbar sein, um Werte von mindestens 80 N bis 150 N zu erreichen. Der beiden Normen gemeinsame Bereich beträgt also 80 N bis 120 N. Nach EN 50502 soll sich das Gelenk der Stromabnehmerkonsole in einer Höhe von 3100...3500 mm befinden. Ziel dieser Vorgabe ist es, der Stromabnehmerstange für alle Fahrdrahtlagen genug Bewegungsspielraum zu bieten und zudem die Rückstellkräfte nicht in einem konstruktiv schwer zu beherrschenden spitzen Winkel einzuleiten. Die Normposition des Stromabnehmer-Drehpunkts kann bei Doppelstockbussen nicht sinnvoll realisiert werden; siehe dazu Abschnitt 3.4.6.2.3. Für das Heben und Senken des Stromabnehmers gibt es folgende Varianten: 1) Manuell Dies ist der Standardfall für fast alle Obusse weltweit. Die Spitze der Stromabnehmerstange ist durch ein isoliertes Seil mit einer Aufwickeleinrichtung (auch Seilaufwickler, Fangtrommel oder Retriever genannt) verbunden, die am Heck des Fahrzeugs angeordnet ist. Diese Aufwickeleinrichtung arbeitet ähnlich einem Sicherheitsgurt im Auto: Sie erlaubt langsame Bewegungen des Seils; bei schnellen Bewegungen wird das Seil festgehalten. Der Stromabnehmer kann somit Höhenänderungen des Fahrdrahts folgen. Bei einer „Entgleisung“ des Stromabnehmers (Schleifschuh springt von Fahrdraht) wird dagegen das Hochspringen der Stromabnehmerstange auf einen kurzen Weg begrenzt. Die Seile werden auch zum manuellen An- und Abdrahten verwendet.	Afin de conférer aux sabots collecteurs une force de contact sur le fil de contact et de ramener les perches dans l’axe du véhicule après une déviation, la perche est reliée au support à côté de l'articulation par des ressorts. Selon la norme EN 50119, la force de contact statique doit être comprise entre 70 N et 120 N. Selon la norme EN 50502, le ressort de contact doit être réglable pour atteindre des valeurs d'au moins 80 N à 150 N. La gamme commune aux deux normes est donc de 80 N à 120 N. Selon la norme EN 50502, l’articuletion du support de perches doit être à une hauteur de 3100...3500 mm. L'objectif de cette spécification est d'offrir à la perche un espace de mouvement suffisant pour toutes les positions du fil de contact et de ne pas introduire les forces de rappel élevées. La position standard du point de pivotement des perches ne peut être réalisée de manière raisonnable sur les autobus à deux étages ; voir la section 3.4.6.2.3. Les variantes suivantes sont disponibles pour lever et abaisser les perches : 1) Manuel C'est le cas de presque tous les trolleybus dans le monde. L'extrémité de la perche est reliée par une corde isolée à un dispositif d'enroulement (également appelé enrouleur de corde) (NDT : appelé aussi Ratrappe-trolley) , qui est situé à l'arrière du véhicule. Ce dispositif d'enroulement fonctionne comme une ceinture de sécurité dans une voiture : il permet des mouvements lents du câble ; lors de mouvements rapides, la corde est maintenue fermement (NDT : en fait, la corde et enroulée rapidement dans le rattrappe trolley, ce qui provoque un abaissement rapide des perches pour éviter tout dégat à la ligne aérienne). Les perches peuvent ainsi suivre les variations de hauteur du fil de contact. En cas de "déraillement" du collecteur de courant (le sabot du collecteur saute du fil de contact), le saut perche est limité à une courte distance. Les cordes sont également utilisées pour l’emperchage et le déperchage manuels.	En ce qui concerne les véhicules à étage, il y a eu par le passé de nombreux trolleybus à étage en Grande Bretagne

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

67	2) Schnellabsenkung An der Stromabnehmerkonsole befindet sich ein Element (z.B. Pneumatikzylinder oder Magnet), das den Stromabnehmer auf Anforderung gegen die Federkraft in die untere Lage drückt. Auslöser kann die Detektierung einer Stromabnehmerentgleisung sein. Auf die Fangwirkung der Seiltrommeln kann dann verzichtet werden. Die Seile werden aber noch zum An- und Abdrahten benötigt. 3) Halbautomatisches An- und Abdrahten An der Stromabnehmerkonsole befinden sich Elemente zum Heben, Senken, Zentrieren und Verriegeln von Stromabnehmern. Auf die Seile kann verzichtet werden, wenn mit den Hebe- und Senkvorrichtungen auch die Bewegungsbegrenzung bei Stromab-nehmerentgleisung realisiert wird. In der Literatur und in Produktkatalogen werden solcherart bestückte Stromabnehmer als Stromabnehmer für automatisches An- und Abdrahten bezeichnet. Der Begriff trifft die Realität nur für das Abdrahten. Die Stromabnehmer werden maschinell eingezogen, zentriert und in der unteren Lage verriegelt. Das Andrahten geschieht jedoch nicht vollautomatisch, denn die Schleifschuhe finden den Fahrdraht nicht selbst und bedür-fen der Hilfe eines Trichters (siehe Abschnitt (siehe Abschnitt 3.4.6.2.4 c). Damit ist das Andrahten nur an festgelegten Punkten möglich.	2) Abaissement rapide Un élément (par exemple un cylindre pneumatique ou un aimant) situé sur le support des perches pousse ces dernières en position basse, à la demande, contre la force du ressort. Le déclenchemnt peut se faire suite à la détection d'un déraillement de perche. Le ratrappe-trolley peut alors être supprimé. Cependant, les cordes sont toujours nécessaires pour l'emperchage et le déperchage (NDT : si on veut maintenir la possibilité d'uu emperchage et déperchage manuel, ce qui n'est pas toujours le cas ; les trolleybus Cristallis de Lyon n'en comportent pas). 3) Emperchage et déperchage semi-automatiques Sur la console de support des perches se trouvent des éléments permettant de lever, d'abaisser, de centrer et de verrouiller les perches. Les cordes peuvent être supprimés si les dispositifs de levage et d'abaissement sont également utilisés pour limiter le mouvement en cas de déraillement de perche. Dans la littérature et dans les catalogues de produits, les perches ainsi équipées sont appelés perches à emperchage et déperchage automatiques. Ce terme ne s'applique qu'au processus d'emperchage. Les perches sont abaissées mécaniquement, centrées et verrouillées en position basse. Cependant, l'emperchage n'est pas entièrement automatique, car les sabots collecteurs ne trouvent pas eux-mêmes le fil de contact et nécessitent l'aide d'un entonnoir (voir section 3.4.6.2.4 c). Cela signifie que le câblage n'est possible qu'à des endroits précis (NDT : équipés d'entonnoirs (Dièdres) suspendus à la ligne aérienne)	
70	**3.4.6.2.4 An- und Abdrahten**	**3.4.6.2.4 Emperchage et déperchage**	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

71	b) Andrahten mit Trichter (…) Es musste also eine Lösung gefunden werden, die die Durchführung des An- und Abdrahtens wenigstens im Stillstand vom Fahrerplatz aus erlaubte. Zu diesem Zweck wurden die Stromabnehmer mit einer steuerbaren Hebe- und Senkeinrichtung versehen. Das Abdrahten war damit problemlos möglich. Beim Andrahten muss der Schleifschuh jedoch zielgenau den Fahrdraht erreichen. Dazu sind jeweils seitlich des Fahrdrahts schräge Platten aus Kunststoff angeordnet, die den Schleifschuh wie ein Trichter zum Fahrdraht führen. Der praktische Zeitbedarf zum Andrahten liegt bei 5...10 s, wobei nach Beobachtungen der untere Wert in China die Regel ist, während in Europa noch immer der obere Wert gebräuchlich ist. Man kann aber davon ausgehen, dass mit entsprechender Übung auch in Europa kurze Andrahtzeiten erreichbar sind. Der Zeitbedarf beim Abdrahten beträgt bis zu etwa 5 s. Die Trichter sind auch durch bereits zuvor angedrahtete Stromabnehmer befahrbar, wodurch die Einbindung von Seitenlinien ohne Fahrdraht in durchgehende Strecken mit Fahrdraht möglich wird. Diese Lösung ist einfach zu realisieren. Wenn das An- und Abdrahten an einer Haltestelle erfolgt, gibt es kaum Fahrzeitverlängerungen. Allerdings gibt es auch Nachteile: · Das An- und Abdrahten erfolgt immer exakt an denselben Stellen. Damit entsteht beim Andrahten eine mechanische Beanspruchung und beim Abdrahten möglicherweise ein Abrissfunke in räumlicher Konzentration. Auch wenn es keine belastbaren Verschleißdaten gibt, so sind diese Stellen sind doch in regelmäßiger Beobachtung zu halten, um rechtzeitig vor Schadenseintritt eine zustandsabhängige Instandhaltung zu veranlassen.	b) Emperchage avec un entonnoir (…) Il fallait donc trouver une solution qui permette d'effectuer l'emperchage et le déperchage depuis le siège du conducteur, du moins à l'arrêt. À cette fin, les perches étaient équipés d'un dispositif de levage et d'abaissement contrôlable. L'emperchage a donc pu être réalisé sans problème. Cependant, le sabot de contact doit atteindre le fil de contact avec précision. Pour ce faire, des plaques inclinées en plastique sont disposées sur les côtés du fil de contact, qui guident le sabot vers le fil de contact comme un entonnoir. Le temps pratique requis pour l'emperchage est de 5...10 s. D'après les observations, la valeur inférieure est la règle en Chine, tandis qu'en Europe, la valeur supérieure est encore courante. On peut toutefois supposer qu'avec une pratique appropriée, des temps d'emperchage courts peuvent également être réalisés en Europe. Le temps nécessaire à l'emperchage est d'environ 5 secondes. Les entonnoirs peuvent également être franchis par desperches déjà au contact de la ligne, ce qui permet d'avoir des lignes de trolleybus sans ligne aérienne qui viennet s'intéger dans des lignes de trolleybus avec ligne aérienne. Cette solution est facile à mettre en œuvre. Si l'emperchage et le déperchage sont effectués à un arrêt, le temps de trajet n'augmente pratiquement pas (NDT, le dépercahge peut se faire véhicule à l'arrêt à n'importe quel endroit de la ligne aérienne, pas besoin d'entonnoir). Cependant, il y a aussi des inconvénients : - L'emperchage et le déperchage se font toujours exactement aux mêmes endroits. Cela signifie qu'il y a une contrainte mécanique lors de l'emperchage, et éventuellement un arc électrique lors de la rupture du contact. Même s'il n'existe pas de données fiables sur l'usure, ces points doivent être observés régulièrement afin de déclencher à temps une maintenance préventive avant que des dommages ne surviennent.	
72	· Wegen der begrenzten räumlichen Wirksamkeit des Trichters muss das Fahrzeug beim Andrahten mit geringer Toleranz (in Längs- und Querrichtung) positioniert werden. Praktikabel sind Fahrbahnmarkierungen. Diese müssen stets sichtbar sein (z.B. permanente Schneefreihaltung). Die An- und Abdrahtstellen müssen sich in der Geraden befinden mit zentrierter Lage der Fahrleitung über der Fahrzeugachse, um die Abweichung von der idealen Position	- En raison de l'efficacité spatiale limitée de l'entonnoir, le véhicule doit être positionné avec une faible tolérance (dans le sens longitudinal et transversal) lors de l'emperchage. Les marquages routiers sont pratiques. Ceux-ci doivent toujours être visibles (par exemple, le déneigement permanent). Les points d'emperchage et de déperchage doivent être en ligne droite avec la ligne de contact aérienne centrée au-dessus de l'essieu du véhicule, afin de maintenir un faible écart par rapport à la position idéale et de réduire les forces latérales sur les	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

	gering zu halten und die Seitenkräfte auf die Stromabnehmer zu verringern. · Weil die Zahl möglicher Fahrbahnmarkierungen begrenzt ist, ist man in der Fahrzeuggeometrie nicht mehr völlig frei. Man wird sich praktisch für zwei Anordnungen der Stromabnehmer in Bezug auf die Fahrzeugfront entscheiden müssen (z.B. Kurzfahrzeug und Gelenkfahrzeug) und diese Entscheidung dann auch bei späteren Fahrzeugbeschaffungen standardisiert beibehalten, will man mit Fahrzeugen verschiedener Typen auf derselben Strecke fahren. In Publikationen wird das Andrahten mittels Trichter oft als „automatisches Andrahten“ bezeichnet, obwohl die Funktion auf bestimmte Orte und den Stillstand des Fahrzeugs eingeschränkt ist. Der Begriff des „automatisches Andrahtens“ hat sich in dieser Form allerdings eingebürgert. Das Andrahten mit Trichter hat sich trotz der beschriebenen Beschränkungen praktisch bewährt und es gibt entsprechende Standardprodukte am Markt.	perches. - Comme le nombre de marquages possibles est limité, on n'est plus complètement libre dans la géométrie du véhicule. Dans la pratique, il faudra décider de deux dispositions des perches par rapport à l'avant du véhicule (par exemple, véhicule court et véhicule articulé), puis maintenir cette décision de manière standardisée pour les achats ultérieurs de véhicules, si l'on veut faire circuler des véhicules de types différents sur la même ligne. Dans les publications, l’emperchage au moyen d'entonnoirs est souvent appelé "emperchage automatique", bien que cette fonction soit limitée à certains endroits et lorsque le véhicule est à l'arrêt. Cependant, le terme "emperchage automatique" est devenu courant sous cette forme. Malgré les limites décrites, l’emperchage en entonnoir a fait ses preuves dans la pratique et il existe des produits standard sur le marché.	
72	Zwei Alternativvarianten des Andrahtens mit Trichter erlauben auch ein Andrahten mit geringen Geschwindigkeiten. Dabei werden entweder große Trichter auch unterhalb der Fahrdrähte platziert oder die Trichterfunktion in den Stromabnehmer verlagert. In letzterem Fall sind die beiden Schleifschuhe an den Spitzen eines „V“ angeordnet und ein stationärer Führungsdraht läuft in den inneren Winkel des „V“ ein und zentriert dieses, so dass bei ansteigendem Führungsdraht die Schleifschuhe passgenau von unten an die beiden Fahrdrähte geführt werden (Verfahren der Deutzer Technische Kohle GmbH).	Deux autres variantes de la connexion au fil par entonnoir permettent également une connexion à faible vitesse. Soit de grands entonnoirs sont placés sous les fils de contact, soit la fonction d'entonnoir est déplacée vers le pantographe. Dans ce dernier cas, les deux sabots collecteurs sont disposés aux extrémités d'un "V" et un fil de guidage fixe entre dans l'angle intérieur du "V" et le centre, de sorte que lorsque le fil de guidage monte, les sabots collecteurs sont guidés avec précision du bas vers les deux fils de contact (méthode de la société Deutzer Technische Kohle GmbH).	Le système Deutzer n’est pas réaliste et nécessite une ligne aérienne compliquée. A noter qu’on pourrait imaginer des perches additionnelles sur le véhicule, actives pour positionner la perche principale au moment de l’emperchage (16-1360-1V PDeb Dispositifs d'emperchage trolleybus). Mais compte tenu du très faible coût de l’entonnoir et de l’autonomie des trolleybus avec batteries, ces systèmes ne présentent aucun intérêt

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

72	c) Vollautomatisches Andrahten Mit der heutigen Sensor- und Regeltechnik ist es prinzipiell möglich, Stromabnehmer zu konstruieren, bei denen der Schleifschuh an beliebigen Stellen automatisch und ohne mechanische Führungshilfen während der Fahrt andrahtet. Erste Patente dazu gab es bereits in den 1970er Jahren und seitdem beschäftigen sich Ingenieure immer wieder mit diesem Thema. Ein Forschungsprojekt der Westsächsischen Hochschule Zwickau in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme und den Leipziger Verkehrsbetrieben im Rahmen der Projekte „AOSA plus – Automatisches Oberleitungsstromabnehmersystem für Busse“ und „eBus Skorpion“ 2013 bis 2016 zeigte die Realisierbarkeit. Eine praktische Umsetzung über den Demonstrator hinaus erfolgte bisher nicht.	c) Emperchage entièrement automatique Grâce à la technologie actuelle des capteurs et des commandes, il est en principe possible de concevoir des perches avec lesquelles le frotteur collecteur est câblé automatiquement en tout point sans aide mécanique de guidage pendant la montée. Les premiers brevets à ce sujet ont déjà été délivrés dans les années 1970 et depuis lors, les ingénieurs travaillent sans cesse sur ce sujet. Un projet de recherche de l'Université des sciences appliquées de Saxe occidentale à Zwickau, en coopération avec l'Institut Fraunhofer pour les systèmes de transport et d'infrastructure et les entreprises de transport de Leipzig, dans le cadre des projets "AOSA plus - Système automatique de pantographe pour les bus" et "eBus Skorpion" 2013 à 2016, a montré la faisabilité. Une mise en œuvre pratique au-delà du démonstrateur n'a pas encore eu lieu.	Différents systèmes asés sur des détections laser devant permettre des emperchages en roulant ont été étudiés, mais ces systèmes « usine à gaz », à supposer qu’il soient mis au point, n’ont pas d’avenir du fait du très faible coût de l’entonnoir et de l’autonomie des trolleybus IMC avec batteries.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

73	3.4.6.3 Systeme mit nicht durch den Fahrdraht geführten Stromabnehmern (…) Es hat nicht an Versuchen gefehlt, die Schleifleisten-Technologie der Straßenbahn auf eine zweipolige Fahrleitung zu übertragen, um an jedem Punkt der Strecke auch ohne Sonder-technologie andrahten zu können – einfach durch Heben des Stromabnehmers wie bei kon-ventionellen Straßenbahnen. Dies bedeutet aber wegen der endlichen Breite der Schleif-stücke, dass eine Stromabnahme nur bei mehr oder weniger spurtreuem Fahren des Fahrzeugs gegeben ist. Praktische Bedeutung haben nur zwei Methoden erlangt, beide bisher nur für LKW: a) Tagebauanwendungen Selbst in großen Tagebauen wird mitunter der LKW-Verkehr gegenüber der Schiene bevor-zugt, um eine örtliche Flexibilität bei wechselnden Abbauverhältnissen zu erreichen. In einigen Fällen wollte man nicht auf elektrische Traktion verzichten und errichtete auf oft befahrenen Routen Fahrleitungsanlagen. Manche sind wie die klassischen Fahrleitungsanlagen des Obus aufgebaut; in einigen Fällen wurde jedoch eine Beschleifung durch Schleifleisten wie bei Stromabnehmern von Schienenbahnen verwendet. Die Spurhaltung obliegt dann dem Fahrer, d.h. sie ist rein manuell. Eine Überschreitung der seitlichen Toleranz durch unsaubere Spurhaltung führt zum Entgleisen des Stromabnehmers und in vielen Fällen zudem zu einer Beschädigung der Fahrleitung. Deshalb ist diese Methode sinnvoll nur in abgesperrten Betriebsgeländen anwendbar, wo der Fahrer sich nicht auf das allgemeine Verkehrsgeschehen konzentrieren muss, sondern dem spurtreuen Fahren mehr Aufmerksamkeit widmen kann.	3.4.6.3 Systèmes avec pantographes non guidés par le fil de contact (..) Les tentatives de transfert de la technologie de la bande de contact du pantographe tramway à une ligne de contact bipolaire, de sorte qu'elle puisse être connectée en tout point de la voie sans technologie spéciale, ne manquent pas - simplement en soulevant le pantographe comme pour les tramways classiques. Toutefois, en raison de la largeur limitée des bandes de contact, cela signifie que le contact n'est possible que lorsque le véhicule est plus ou moins dans l'axe de sa voie (NDT dans l'axe de la ligne aérienne). Seules deux méthodes ont gagné en importance pratique, toutes deux jusqu'à présent uniquement pour les camions : a) Applications minières à ciel ouvert Même dans les grandes mines à ciel ouvert, le transport par camion est parfois préféré au transport ferroviaire afin d'obtenir une flexibilité locale dans les conditions changeantes de l'exploitation minière. Dans certains cas, l'entreprise ne voulait pas se passer de la traction électrique et a installé des systèmes de caténaires sur les itinéraires les plus fréquentés. Certains sont construits comme les systèmes classiques de lignes aériennes de contact pour trolleybus ; dans certains cas cependant, un captage par bandes de contact a été utilisé comme pour les pantographes des chemins de fer. Le suivi de la voie est alors de la responsabilité du conducteur, c'est-à-dire qu'il est purement manuel. La faible tolérance latérale à une trajectoire inadaptée entraîne une sortie du pantographe et, dans de nombreux cas, une détérioration de la ligne de contact. Cette méthode n'est donc utile que dans les zones fermées où le conducteur n'a pas à se concentrer sur la situation générale du trafic mais peut prêter davantage attention au maintien de la trajectoire.	Avec le système à perches du trolleybus, le frotteur en u est guidé par le fil de contact. Voir la proposition de trolleybus à pantographe (19-1005-13GBV1 PDeb Article Stadtverkehr Trolley Panto BRT FR GB) applicable pour les BRT en site propre avec un dessin spécial pour la palette des pantographes.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

74	Abbildung 3-27: Anwendungs-beispiel Siemens Trolley Truck An der Abbaustelle wird das Fahrzeug von einem Dieselmo-tor angetrieben, doch die Fahrt aus dem Tagebau heraus erfolgt elektrisch. Die Fahrdrähte der zweipoligen Fahrleitung liegen mehrere Meter auseinander und werden von zwei unabhängigen Stromabnehmern bestrichen. Nennspannung ist 1,5 kV DC. Bildquelle: Siemens AG [9] 	Figure 3-27 : Exemple d'application du camion trolleybus Siemens Sur le site de la mine, le véhicule est propulsé par un moteur diesel, mais la propulsion à la sortie de la mine à ciel ouvert est électrique. Les fils de contact de la ligne aérienne de contact bipolaire sont distants de plusieurs mètres et sont atteints par deux pantographes indépendants. La tension nominale est de 1,5 kV CC. Source de l'image : Siemens AG [9]. 	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

74	b) Projekt eHighway Es handelt sich um ein von der Siemens AG (unter Mitarbeit von Forschungspartnern) entwickeltes System, mit dem Ziel, den Straßengüterverkehr zu elektrifizieren. Für diesen kommt nur eine flexible Teilstrecken-Nutzung einer elektrischen Infrastruktur infrage. Das Verfahren wäre auch für den HObus anwendbar. Auch bei dieser Methode fährt das Fahrzeug mehr oder weniger spurtreu vom Fahrer gesteuert unter einer zweipoligen Fahrleitung. Verwendet werden jedoch hoch dynamisch gesteuerte Stromabnehmer („aktive Stromabnehmer“) mit zwei zusätzlichen Funktionen: · Die Stromabnehmer werden automatisch seitlich nachgeführt, um das Toleranzband für die seitliche Bewegung des Fahrzeugs zu erweitern. · Die Stromabnehmer werden automatisch gesenkt, wenn das Fahrzeug seitlich zu weit von der Fahrleitung abweicht. Umgekehrt werden sie selbsttätig gehoben, wenn die Steuerung erkennt, dass eine Fahrleitung erreichbar ist. Wenn der Stromabnehmer sich nicht am Fahrdraht befindet, dann liefert ein Speicher und/oder Verbrennungsmotor die Energie. Der Vorteil dieser Methode ist, dass aus Sicht des Fahrers das Fahrzeug wie ein konventionelles fahrleitungsunabhängiges Fahrzeug benutzt werden kann. Der Fahrer kümmert sich weder um die Spurhaltung der Stromabnehmer unter der Fahrleitung, noch um das An- und Abdrahten. Das Steuersystem erkennt und entscheidet selbst während der Fahrt, wann die Stromabnahme aus der Fahrleitung erfolgen kann. Die Stromabnehmer und die Zuschaltung der On-Board-Energiequellen sind dynamisch genug geregelt, so dass auch spontanes Verlassen des mit Fahrleitung versehenen Fahrwegs etwa für Überholvorgänge oder Abbiegen technisch möglich ist. Es entfällt der Zeitbedarf für das An- und Abdrahten im Stillstand.	b) Projet eHighway NDT : autoroute électrique Il s'agit d'un système développé par Siemens AG (en coopération avec des partenaires de recherche) dans le but d'électrifier le transport routier de marchandises. À cette fin, seule une utilisation flexible de l'infrastructure électrique est possible. La procédure serait également applicable pour le trolleybus IMC. Avec cette méthode aussi, le véhicule roule plus ou moins fidèlement sur sa voie, contrôlé par le conducteur sous une ligne de contact aérienne bipolaire. Cependant, des pantographes pilotés dynamiquement ("pantographes actifs") avec deux fonctions supplémentaires sont utilisés : · Les pantographes sont automatiquement positionnés latéralement afin d'étendre la bande de tolérance pour le mouvement latéral du véhicule. · Les pantographes sont automatiquement abaissés si le véhicule s'écarte trop de la ligne aérienne de contact. Inversement, ils sont automatiquement levés lorsque le système de contrôle détecte qu'une caténaire est accessible. Si le pantographe n'est pas au contact du fil de contact, un accumulateur et/ou un moteur à combustion fournit l'énergie. L'avantage de cette méthode est que, du point de vue du conducteur, le véhicule peut être utilisé comme un véhicule conventionnel indépendant de la caténaire. Le conducteur n'a pas à se soucier de maintenir les pantographes dans la voie sous la caténaire, ni de les connecter ou déconnecter. Le système de contrôle reconnaît et décide lui-même pendant le voyage quand le captage par la caténaire peut avoir lieu. Les pantographes et la connexion des sources d'énergie à bord sont contrôlés de manière suffisamment dynamique pour qu'il soit techniquement possible de quitter spontanément la voie équipée de caténaire, par exemple pour dépasser ou tourner. Cela évite un temps d’arrêt qui serait nécessaire pour se connecter.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

75	Die Funktionsfähigkeit der Methode wurde von der Siemens AG seit 2010 auf einer Test-strecke auf einem ehemaligen Militärflughafen bei Groß Dölln in Brandenburg nachgewie-sen (Projekt ENUBA, [7], [8]). Dort wurde eine Fahrleitungsspannung von 670 V gewählt und die Fahrleitung als Kettenwerk ausgebildet, um größere Mastabstände zu erreichen (ca. 65 m). Verwendet wurde ein Fahrdraht Cu 150 mm² und ein Tragseil BzII 120 mm² mit Nachspannung. Abbildung 3-28: Siemens-Teststrecke auf einem ehe-maligen Flugplatz in Bran-denburg. Der LKW besitzt vorn zwei aktive Stromabnehmer. Bildquelle: www.siemens.com/presse Es befinden sich international mehrere Pilot-Anwendungsprojekte in der Vorbereitung. Die Methode wäre auch beim HObus anwendbar und hätte den Vorteil des problemlosen An- und Abdrahtens während der Fahrt ohne Eingreifen des Fahrers und ohne Fahrzeitver-lust. Allerdings sind die aktiven Stromabnehmer im Vergleich zu passiven deutlich teuer, was die breite und schnelle Einführung der Methode kommerziell erschwert.	La faisabilité de la méthode a été vérifiée par Siemens AG depuis 2010 sur une piste d'essai dans un ancien aéroport militaire près de Groß Dölln dans le Brandebourg (projet ENUBA, [7], [8]). Là, une tension de ligne de contact de 670 V a été choisie et la ligne de contact a été conçue comme une caténaire afin d'obtenir des distances depoteaux plus importantes (environ 65 m). Un fil de contact Cu 150 mm² et un fil porteur BzII 120 mm² avec tension (NDT : avec régularisation) ont été utilisés. Figure 3-28 : piste d'essai de Siemens sur un ancien aérodrome de Brandebourg. Le camion a deux pantographes actifs à l'avant. Source de l'image : www.siemens.com/presse Plusieurs projets d'applications pilotes sont en cours de préparation au niveau international. Cette méthode serait également applicable au trolleybus IMC et présenterait l'avantage de faciliter la levée et l'abaissement du pantographe pendant le trajet sans intervention du conducteur et sans perte de temps de trajet. Toutefois, les pantographes actifs sont nettement plus chers que les pantographes passifs, ce qui rend difficile l'introduction large et rapide de la méthode sur le plan commercial.	C'est quand même une usine à gaz au niveau de la commande des pantographes

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

76	**3.4.7 Infrastruktur im Betriebshof** **3.4.7.1 Fahrleitung** Der Aufbau eines Fahrleitungsnetzes im Betriebshof mit hohem Abdeckungsgrad wäre wegen zahlreicher Weichen und Kreuzungen sehr aufwendig. Die Bewegung der Fahrzeuge im Betriebshof im Batteriemodus ist daher anzuraten. Für die Bewegung entladener Fahrzeuge sind entsprechende Schlepper vorzuhalten. Für Testzwecke sollte ein Fahrleitungsring im Betriebshof vorgesehen werden. Damit ist es möglich, Fahrzeuge nach Reparaturen funktional auch im Fahrbetrieb zu testen, ohne öffentliche Straßen zu benutzen. Des Weiteren kann man auch Fahrleitungen zur Nachladung verwenden, siehe Kapitel 3.4.7.2 a). **3.4.7.2 Ladeinfrastruktur** Bei Übernachtladern und bei Gelegenheitsladern findet die primäre Ladung im Betriebshof statt, weil hier die längste Standzeit verfügbar ist. Aber auch bei Streckenladern mit am Betriebshof vorbeiführender Fahrleitung ist die Installation von Ladeinfrastruktur im Betriebshof sinnvoll. Es muss gesichert werden, dass bei Betriebsaufnahme ein genügend hoher Ladestand der Batterie vorhanden ist. Anderenfalls ist das Fahrzeug nicht für den Betrieb tauglich. · Auch während der Abstellzeit wird Energie benötigt, mindestens zum Frostschutz und zum Wiederaufrüsten (Hochheizen) vor Betriebsaufnahme. Ohne externe Energieversorgung würde diese Energie der Batterie entnommen werden, was den Energieinhalt bei Betriebsbeginn verringert. · Für Arbeiten am Fahrzeug kann es aus Arbeitsschutzgründen nötig sein, den Speicher zu entladen. Vor Betriebsaufnahme ist ein Wiederaufladen nötig. · Bei Arbeiten an der Energieversorgung der nächstgelegenen Strecken-Fahrleitungsabschnitte oder Umleitungen ist es möglich, dass die Fahrzeuge den Betriebshof mit einem niedrigen Ladeinhalt erreichen; ggf. zu niedrig für Hilfsbetriebebedarf und Mindestinhalt bei Betriebsaufnahme.	**3.4.7 Infrastructure dans le dépôt** 3.4.7.1 Ligne aérienne de contact La construction d'un réseau de lignes aériennes dans le dépôt avec un haut degré de couverture serait très coûteuse en raison des nombreux points et croisements. La circulation des véhicules dans le dépôt en mode batterie est donc conseillée. Des tracteurs appropriés doivent être prévus pour le déplacement des véhicules déchargés. À des fins d'essai, un anneau équipé de ligne aérienne doit être prévu dans le dépôt. Il est ainsi possible de tester les véhicules en mode exploiratation après réparation sans emprunter la voie publique. En outre, les lignes de contact aériennes peuvent être utilisées pour la recharge, voir le chapitre 3.4.7.2 a). 3.4.7.2 Infrastructure de charge Pour la charge de nuit et la charge occasionnelle (NDT : biberonnage), la charge principale a lieu dans le dépôt, car c'est là que le temps de stationnement est le plus long. Cependant, il est également judicieux d'installer une infrastructure de recharge dans le dépôt même quand les lignes aériennes assurant la recharge en ligne passent devant le dépôt. Il faut s'assurer qu'un niveau de charge de la batterie suffisamment élevé est disponible au début de l'exploitation. Dans le cas contraire, le véhicule n'est pas adapté à l'exploitation. - De l'énergie est également nécessaire pendant la période de stationnement, au moins pour la protection contre le gel et pour la remise en service (chauffage) avant de démarrer l'exploitation. Sans apport d'énergie externe, cette énergie serait prélevée sur la batterie, ce qui réduirait le contenu énergétique au début de l'exploitation. - Pour des travaux sur le véhicule, il peut être nécessaire de décharger l'accumulateur pour des raisons de sécurité. La recharge est nécessaire avant de commencer l'exploitation. - Lorsque l'on travaille sur l'alimentation en énergie des sections de ligne aérienne les plus proches ou à cause de déviations, il est possible que les véhicules arrivent au dépôt avec une faible charge ; éventuellement trop faible pour les besoins des auxiliaires et le contenu minimum pour le début de l'exploitation.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

76	Es gibt folgende etablierte Lademethoden: a) Über konventionelle Fahrleitung Auf der Abstellfläche wird eine konventionelle Fahrleitung errichtet. Die abgestellten Fahrzeuge werden über die Standard-Stromabnehmer geladen. Der Vorteile dieser Variante sind · Es sind keine von der Streckenausrüstung abweichenden Bauformen notwendig. Die technische Infrastruktur entspricht derjenigen der Strecke und am Bus sind keine zusätzlichen Einrichtungen notwendig. · Im Unterschied zur punktförmigen Ladung können Fahrzeuge verschiedener Länge abgestellt werden, weil die Fahrleitung auf der gesamten Länge Leistung bereitstellen kann. · Kein Platzbedarf für Ladesäulen, kein Verschleiß von Kabeln. Wenn die Fahr-leitungen über Querfelder aufgehangen werden, befinden sich keine oder nur wenige Maste auf der Abstellfläche. Der Nachteil ist, dass der Stillstandsstrom der Stromabnehmer eingeschränkt ist (Vor-gabe BVG: 80 A), weil bei stehendem Fahrzeug der Wärmeeintrag in die Fahrleitung punktförmig ist. Damit verbleibt nach Abzug der Hilfsbetriebeleistung nur eine geringe Differenz zum Laden der Batterie. Dieser Nachteil lässt sich folgendermaßen mindern (nicht aber vermeiden): · Wahl der maximal erlaubten Spannung als Einspeisespannung in die Fahrleitung (für DC 750 V Nennspannung: DC 900 V), · Deutliche Reduzierung der Hilfsbetriebeleistung durch Zurückfahren der Komforteinrichtungen (z.B. Heizung nur auf Frostschutzniveau), · Verwendung einer thermisch verstärkten Fahrleitungsbauart, zum Beispiel durch Hochkantprofile. Dies verteuert wegen der Sonderbauform die Anlage deutlich.	Les méthodes de charge installées sont les suivantes : a) Par ligne aérienne de contact conventionnelle Une ligne de contact aérienne classique est installée sur l'aire de stationnement. Les véhicules garés sont chargés via les perches standard. Les avantages de cette variante sont - Aucune conception constructive s'écartant de l'équipement de la ligne n'est nécessaire. L'infrastructure technique correspond à celle en ligne et aucun équipement supplémentaire n'est nécessaire dans le bus. -Contrairement à la recharge ponctuelle, il est possible de garer des véhicules de différentes longueurs car la ligne aérienne peut fournir de l'énergie sur toute sa longueur. -Aucun espace n'est nécessaire pour les colonnes de charge, aucune usure des câbles. Si les lignes aériennes sont suspendues à des câbles transversaux, il n'y a pas ou peu de poteaux sur l'aire de stationnement. L'inconvénient est que le courant capté par les perches est limité (spécification BVG (NDT : l'exploitant des transports de Berlin) : 80 A), car lorsque le véhicule est à l'arrêt, l'apport de chaleur dans la ligne aérienne est localisé. A cause de cela, après avoir déduit l'énergie pour les auxiliaires, il ne reste qu'une petite différence pour charger la batterie. Cet inconvénient peut être réduit (mais pas évité) comme suit : - Sélection de la tension maximale admissible comme tension d'alimentation de la ligne aérienne (pour une tension nominale de 750 V CC : 900 V CC), - Réduction significative de la puissance des auxiliaires en réduisant les dispositifs de confort (par exemple, chauffage uniquement au niveau de protection contre le gel), - Utilisation d'une conception de ligne aérienne de contact renforcée thermiquement, par exemple en utilisant des profils verticaux. Cela renchérit nettement en raison de la conception spéciale.	La solution Furrer Frey de « profilé de renfort du fil de contact » appliqué en chemin de fer est elle appplicable au trolleybus ?

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

78	b) Punktförmige Pantographenlösungen Hierbei werden einzelne Abstellplätze mit einem Lademast versehen. Die Stromübertragung erfolgt mit einem speziellen Stromabnehmer (Pantograph), der für einen größeren Übergangsstrom geeignet ist, aber nur im Stillstand des Fahrzeugs verwendet werden kann. Praktische Ausführungen ordnen wahlweise den Pantographen auf dem Fahrzeug oder am Lademast an. Auf der jeweils anderen Seite befinden sich spezielle Kontaktstücke. Wegen der Bindung an einen Lademast sind die Anordnung der Abstellplätze und ihre Zuordnung zu bestimmten Fahrzeuglängen nach dem Bau der Maste fixiert. Änderungen im Typenbestand der Flotte, zumindest was Fahrzeuglänge und Position sowie Typ des Stromabnehmers betrifft, erfordern einen Umbau des Betriebshofes. Des Weiteren erfordert der Mast Platz, wodurch sich der Abstand der Abstellgassen erhöht bzw. die Kapazität des Betriebshofes sinkt	b) Solutions ponctuelles avec pantographe Ici, les places de stationnement individuelles sont équipées d'une borne de recharge. Le courant est transmis par un collecteur de courant spécial (pantographe), qui convient pour un courant de transfert plus important, mais ne peut être utilisé que lorsque le véhicule est à l'arrêt. En pratique, cela permet de disposer le pantographe sur le véhicule ou sur le mât de chargement. Des pièces de contact spéciales se trouvent de l'autre côté. En raison de la liaison avec un mât de chargement, la disposition des places de stationnement et leur affectation à certaines longueurs de véhicules sont fixées après la construction des mâts. Les changements dans le type de flotte, au moins en ce qui concerne la longueur et la position des véhicules, ainsi que le type de pantographe, nécessitent une modification du dépôt. En outre, le mât nécessite de l'espace, ce qui augmente la distance entre les allées de stationnement et réduit la capacité du dépôt.	
77	c) Steckerlösungen Der Aufwand für Steckerlösungen ist meist kleiner, als für Fahrleitungen und Pantographen-Ladesäulen. Aber auch sie haben Nachteile: · Wegen der Bindung an einen Elektranten sind die Anordnung der Abstellplätze und ihre Zuordnung zu bestimmten Fahrzeuglängen nach dem Bau der Maste fixiert. · Elektranten erfordern Platz, wodurch sich der Abstand der Abstellgassen erhöht bzw. die Kapazität des Betriebshofes sinkt. · Erfahrungen zeigen, dass mit einem erhöhten Verschleiß zu rechnen ist. Bodennah entnehmbare Ladekabel nutzen sich schnell ab (Schleifen über Beton, Überfahren durch Fahrzeuge, Herunterfallen der Stecker). Über Federsysteme aufgehangene Stecker kollidieren gelegentlich mit Frontscheiben der Busse. · Änderungen im Typenbestand der Flotte, zumindest was Fahrzeuglänge und Position des Steckers betrifft, erfordern einen Umbau des Betriebshofes	c) Solutions avec prises Les coûts des solutions avec prises sont généralement inférieurs à ceux des lignes aériennes et des stations de recharge à pantographe. Mais ils ont aussi des inconvénients : - En raison du lien avec une borne éléctrique, la disposition des places de stationnement et leur attribution à des longueurs de véhicules spécifiques sont fixées selon la construction des poteaux. - Les bornes électriques ont besoin d'espace, ce qui augmente l'espacement des allées de stationnement et réduit la capacité du dépôt. - L'expérience montre qu'il faut s'attendre à une usure accrue. Les câbles de charge qui peuvent être retirés près du sol s'usent rapidement (usure sur le béton, véhicules roulant dessus, chute des prises). Les prises suspendues par des systèmes à rappel entrent parfois en collision avec les pare-brise des bus. - Les modifications du parc de véhicules, au moins en termes de longueur des véhicules et de position de la prise, nécessitent un réaménagement du dépôt.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

78	**Lademanagement** Eine Reduzierung der Zahl der Ladeplätze ist möglich, wenn man eine Schnellladung durchführt und die abgestellten Fahrzeuge rotieren lässt (reine Abstellposition ohne Ladeeinrichtung > Ladestelle > reine Abstellposition ohne Ladeeinrichtung). Dies senkt die Investitionskosten in die Ladeinfrastruktur verringert aber gleichzeitig die Lebensdauer der (LFP-) Batterien durch die Schnellladung. In Städten mit ausgeprägtem Nachtverkehr und hoher Frühspitze im Fahrzeugbedarf ist zudem die Verweildauer der Fahrzeuge im Betriebshof zu gering für ein solches Rotationsverfahren. Zudem ist Personal zur Umsetzung der Fahrzeuge erforderlich. Um Leistungs- und Stromspitzen zu reduzieren, empfiehlt sich ein intelligentes Lademanagement. Beispielsweise kann der Ladevorgang und das Hochheizen sequenziell erfolgen: die Ladung wird so berechnet, dass die Batterie eine halbe Stunde vor Dienstantritt des Fahrers beendet ist und danach die erforderliche Innenraumtemperatur im Bus hergestellt wird. Voraussetzung ist eine selbsttätige Kommunikation der Fahrzeuge mit dem Leitrechner und Regelmöglichkeiten für jeden einzelnen Ladeplatz. Es empfiehlt sich somit, die ohnehin für die Organisation des Fahrzeugeinsatzes benötigte Dispositions-Software um ein Modul für Lademanagement zu erweitern.	Gestion de la charge Une réduction du nombre de points de charge est possible si la charge rapide est effectuée et si les véhicules stationnés sont bougés (position de stationnement pure sans installation de charge > point de charge > position de stationnement pure sans installation de charge). Cela rédui les coûts d'investissement dans l'infrastructure de charge, mais aussi la durée de vie des batteries (LFP) à cause de la charge rapide. Dans les villes où le trafic nocturne est intense et où la demande de véhicules connaît un pic élevé le matin, le temps que les véhicules passent dans le dépôt est également trop court pour une telle procédure de rotation des véhicules. En outre, du personnel est nécessaire pour déplacer les véhicules. Afin de réduire les pics de puissance et de courant, une gestion intelligente de la charge est recommandée. Par exemple, le processus de charge et le chauffage peuvent se dérouler de manière séquentielle : la charge est calculée de telle sorte que la batterie soit terminée une demi-heure avant la prise de service du conducteur et que la température intérieure requise soit alors établie dans le bus. La condition préalable est la communication automatique des véhicules avec l'ordinateur maître, et des possibilités de réglage pour chaque station de charge individuelle. Il est donc conseillé d'ajouter un module de gestion de la charge au logiciel déjà nécessaire d'affectation des véhicules pour organiser le déploiement des véhicules.	
80	**3.5 Grundlagen der Betriebssimulation und der elektrischen Netzberechnung**	3.5 Bases de la simulation d'exploitation et du calcul des réseaux électriques	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

86	**3.5.3 Grundlagen der Fahrdynamik** (…) **Fahrwiderstand** Der Fahrwiderstand setzt sich zusammen aus: · Rollwiderstand, · Luftwiderstand, · Kurvenwiderstand, · Neigungswiderstand. Der Rollwiderstand von gummibereiften Straßenfahrzeugen ist deutlich höher als der von Schienenfahrzeugen. Die Werte streuen je nach Ausführung in einem weiten Bereich. Der Rollwiderstandsbeiwert (definiert als Verhältnis von Rollwiderstand zu Fahrzeuggewicht) wird in [6] angegeben mit 0,01...0,02 für Beton, Asphalt und Pflaster, was sich mit Erfah-rungswerten in anderen Projekten deckt. Für die Berechnung des kombinierten Roll- und Luftwiderstands hat sich die Davis-Formel als praktikabel erwiesen. Es handelt sich um eine quadratische Gleichung mit drei Koeffi-zienten und der Geschwindigkeit als Variable: $FW = A + b\,v + C\,v^2$. Für die Koeffizienten liegen aktuelle Erfahrungswerte vor. Für den eingeschränkten Geschwindigkeitsbereich im Stadtverkehr und dem hier nur geringen Einfluss von Zuladungsmasse und Luftwiderstand genügt oft eine Vereinfachung mit den zwei Koeffizienten A und C. Der Kurvenwiderstand, das heißt die Erhöhung der Widerstandskraft bei Kurvenfahrt, wird von vielen Autoren als vernachlässigbar eingeschätzt, was in Relation auf die Beschleunigungskraft auch nachvollziehbar ist. In Kurven wird wegen der Seitenkräfte ohnehin die Geschwindigkeit begrenzt sein und indirekt damit auch die Beschleunigung, weshalb der Kurvenwiderstand für die Auslegung des Antriebsstranges nicht wesentlich ist. Für den Leistungsbedarf jedoch kann er relevant sein. Daher wird in dieser Studie der Angabe aus [10] gefolgt, dass der Kurvenwiderstand etwa so groß ist wie Roll- und Luftwiderstand (Verdopplung des Fahrwiderstandes in der Ebene). Der Neigungswiderstand berechnet sich wie bei allen anderen Fahrzeugen aus dem Produkt von Fahrzeuggewicht, Erdbeschleunigung und dem Sinus des Neigungswinkels.	**3.5.3** Dynamique des véhicules (…) Résistance à l’avancement La résistance à l’avancement est composée de : · résistance de roulement, · Résistance de l’air, · Résistance due aux courbes, · Résistance due aux rampes. La résistance au roulement des véhicules routiers équipés de pneus en caoutchouc est nettement supérieure à celle des véhicules ferroviaires. Les valeurs varient dans une large fourchette en fonction de la conception. Le coefficient de résistance au roulement (défini comme le rapport entre la résistance au roulement et le poids du véhicule) est indiqué dans [6] comme étant de 0,01...0,02 pour le béton, l'asphalte et le pavage, ce qui correspond à l'expérience acquise dans le cadre d'autres projets. Pour le calcul de la résistance combinée au roulement et à l'air, la formule Davis s'est avérée pratique. C'est une équation quadratique à trois coefficients et la vitesse comme variable : $FW = A + b\,v + C\,v^2$. Les valeurs empiriques actuelles sont disponibles pour les coefficients. Pour la plage de vitesse limitée dans le trafic urbain et la seule influence mineure de la masse de la charge utile et de la résistance de l'air, une simplification avec les deux coefficients A et C est souvent suffisante. De nombreux auteurs considèrent que la résistance dans les courbes, c'est-à-dire l'augmentation de la résistance lors du virage, est négligeable, ce qui est compréhensible par rapport à la force d'accélération. Dans les courbes, la vitesse sera de toute façon limitée en raison des forces latérales et donc indirectement aussi de l'accélération, c'est pourquoi la résistance aux courbes n'est pas essentielle pour la conception de la chaîne cinématique. Cependant, elle peut être pertinente pour la demande de puissance. Par conséquent, dans cette étude, on suit les informations de [10] selon lesquelles la résistance en courbe est approximativement aussi élevée que la résistance au roulement et à l'air (doublement de la résistance à l’avancement en circulation à plat). Comme pour tous les autres véhicules, la résistance en rampe est calculée à partir du produit du poids du véhicule, de l'accélération due à la gravité et du sinus de l'angle de la rampe.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

87	**3.6 Vorgehensweise technische Machbarkeit** (…) Für die elektrische Netzinfrastruktur wurde zunächst der größtmögliche Teil der Strecken-länge elektrifiziert, wobei an Abzweigungen sowie Zusammenführungen von mehreren Li-nien sowie in Kreuzungsbereichen und städtebaulich sensiblen Bereichen (Schloss Charlottenburg) fahrleitungsfreie Abschnitte im Modell berücksichtigt sind. Ziel ist es, keine aufwändigen und auffälligen Fahrleitungselemente wie Weichen oder Kreuzungen in die Ziel-netzstruktur zu integrieren, auch wenn diese Elemente technisch erprobt und problemlos realisierbar wären. Bereiche mit einer geringen Busdichte (3 Busse/Stunde und Richtung, Seekorso bis Gutsstr.) wurden auch der Gruppe der fahrleitungsfreien Abschnitte zugeord-net. Mit diesen Annahmen entstand die elektrische Netzkonfiguration mit hohem Elektrifi-zierungsgrad, welche als Ausgangsbasis genutzt und im Folgenden als „Szenario A“ be-zeichnet wird. Als ungünstigster Fall für die Auslegung und Dimensionierung wurden elektrische Rahmenbedingungen gewählt, wie beispielsweise eine Abnutzung der Fahrdrähte von 20 %, eine Leitertemperatur von 60 °C, die volle Besetzung der Fahrzeuge während der betrieblichen Spitzenstunde sowie die maximal zulässige Hilfsbetriebelast. Unter diesen Annahmen wurde der Leistungsbedarf am Stromabnehmer berechnet und die Anzahl und Position der Unterwerke mit ihren Einspeisungen sowie die Dimensionierung und Konfiguration aller elektrischen Leiter unter Beurteilung der auslegungsrelevanten technischen Bewertungkriterien: (…)	3.5.3 Fondements de 3.6 Faisabilité technique (…) Pour l'infrastructure du réseau électrique, la plus grande partie possible de la longueur des lignes a été initialement électrifiée, les tronçons sans lignes aériennes étant pris en compte dans le modèle aux carrefours et aux embranchements de plusieurs lignes ainsi qu'aux intersections et dans les zones sensibles au développement urbain (château de Charlottenburg). L'objectif n'est pas d'intégrer des éléments de ligne aérienne complexes et visibles tels que des aiguillages ou des croisements dans la structure du réseau cible, même si ces éléments sont techniquement éprouvés et peuvent être mis en œuvre sans problème. Les zones à faible densité de bus (3 bus/heure et direction, Seekorso jusque Gutsstr.) ont également été affectées au groupe de sections sans ligne aérienne. Sur la base de ces hypothèses, on a créé une configuration de réseau électrique avec un degré élevé d'électrification, qui sert de point de départ et qui est appelée "scénario A" dans la suite du texte. Comme scénario le plus défavorable pour la conception et le dimensionnement, ont été choisies des conditions électriques cadres, telles qu'une usure de 20 % des fils de contact, une température des conducteurs de 60 °C, l'occupation complète des véhicules pendant les heures de pointe et la charge maximale admissible pour les auxiliaires. Sur la base de ces hypothèses, la demande de puissance aux perches a été calculée et le nombre et la position des sous-stations avec leurs alimentations ainsi que le dimensionnement et la configuration de tous les conducteurs électriques, avec jugement selon les critères d'évaluation technique pertinents : (…)	Scénario A : le maximum avec lignes aériennes

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

88	Im Szenario B wurden ausgehend von der Konfiguration im Szenario A mehrere Fahrleitungsabschnitte reduziert, vornehmlich Abschnitte mit Auslastungen von maximal 6 Bussen pro Stunde und Richtung. Weiterhin wurden, um die Anzahl der Unterwerksstandorte zu reduzieren, dicht beieinander liegende Unterwerke zusammengelegt, was im Gegenzug zu längeren Speisekabeln führt. Es ergaben sich geänderte Unterwerksstandorte und vereinzelt geänderte Fahrleitungskonfigurationen. Zudem wurde der Batteriezustand über mehrere Umläufe mit in die Auswertung einbezogen. Dabei wurden die Fahrleitungsabschnitte hinsichtlich ihrer Notwendigkeit bewertet. Es zeigte sich der Bedarf von Nachladepunkten an Endhaltestellen, um den Batteriestand während der Stand- und Wendezeiten nicht überdurchschnittlich stark (bei langen Standzeiten und hohem Hilfsbetriebeleistungsbedarf) absinken zu lassen, wobei sich die Batterie als bereits ausreichend dimensioniert erwies. Es ergaben sich auch hier mehrere Iterationsschritte (auch unter Einbeziehung von Ausfallsze-narien) und eine finale Netzkonfiguration für das Szenario B.	Dans le scénario B, à partir de la configuration du scénario A, plusieurs tronçons de ligne aérienne ont été réduits, principalement des tronçons avec une utilisation maximale de 6 bus par heure et par direction. En outre, afin de réduire le nombre d'emplacements de sous-stations, des sous-stations proches l'une de l'autre ont été fusionnées, ce qui entraîne des câbles d'alimentation plus longs. Cela a entraîné un changement d'emplacement des sous-stations et, parfois, une modification de la configuration des lignes aériennes. En outre, l'état de la batterie après plusieurs rotations a été inclus dans l'évaluation. Les sections de lignes avec ligne aérienne ont été évaluées en fonction de leur nécessité. Il a été démontré qu'il était nécessaire d'installer des points de recharge aux arrêts terminus, afin d'éviter que le niveau de la batterie ne baisse plus que la moyenne lors du stationnement et des manoeuvres de demi-tour (pendant les longues périodes d'inactivité et les besoins élevés en énergie auxiliaire), la batterie s'avérant alors suffisamment dimensionnée. Ici aussi, plusieurs étapes d'itération (comprenant également des scénarios de défaillance) et une configuration finale du réseau pour le scénario B en ont résulté.	Scénario B : avec lignes aériennes optimisées
88	Im Szenario C wurde der gemäß Nahverkehrsplan der Stadt Berlin mögliche Bau von Straßenbahnen in Berlin-Spandau berücksichtigt. (…) Ausgehend von den ermittelten Netzkonfigurationen für die drei Szenarien wurden die Mengengerüste der elektrischen Infrastruktur als Grundlage zur Ermittlung des Investitionsbedarfs abgeleitet; die Flottengröße ergab sich bereits aus dem Betriebskonzept und der notwendigen Reserve. Um Aussagen zu den Energiekosten zu erhalten, wurden zusätzlich für jedes Szenario mit der finalen elektrischen Netzkonfiguration im Normalbetrieb weitere Simulationen durchgeführt. Konkret wurde der Energiebedarf für einen Werktag unter Berücksichtigung verschiedener Hilfsbetriebeleistungsbedarfe sowie tagesgang- und ortsabhängiger Besetzungsgrade ermittelt.	Le scénario C prend en compte la construction éventuelle de tramways à Berlin-Spandau selon le plan de transport local de la ville de Berlin. (…) Sur la base des configurations de réseau déterminées pour les trois scénarios, on en a déduit les structures quantitatives de l'infrastructure électrique servant de base pour déterminer les besoins d'investissement ; la taille du parc a déjà été déduite du concept d'exploitation et de la réserve nécessaire. Afin d'obtenir des informations sur les coûts énergétiques, des simulations supplémentaires ont été réalisées pour chaque scénario avec la configuration finale du réseau électrique en fonctionnement normal. Plus précisément, les besoins en énergie pour une journée de travail ont été déterminés en tenant compte des divers besoins en énergie des auxiliaires ainsi que des horaires et des taux d'occupation selon les endroits.	Scénario C : avec des lignes de tram qui remplacent certaines lignes de trolleybus

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

94

3.7.5 Energiebedarfsermittlung

Für eine grobe Schätzung vorab werden Erfahrungswerte für den Energieverbrauch der Fahrzeuge eingesetzt. Da in diesen Erfahrungswerten bereits ein Busmodell eingerechnet ist, ändert sich die Einheit dieser Energieverbrauchswerte in kWh/km.
In der folgenden Tabelle (Tabelle 3-15) sind Erwartungswerte, die aus Erkenntnissen bei vergleichbaren Projekten ([89], [90], [91]) stammen, aufgelistet.

Tabelle 3-15: Überschlagswerte spezifischer Energieverbrauch

Modell	spezifischer Energieverbrauch
10 – 12 m Bus	1,5 kWh/km
18 m Bus	2,5 kWh/km
24 m Bus	3,5 kWh/km
Maximum für Systemauslegung (statische Berechnung)	4,5 kWh/km

Diese Werte dienen lediglich als Richtwert für eine Vorabeinschätzung und auch, um die späteren Simulationsergebnisse auf Plausibilität hin zu überprüfen. Die Ermittlung der exak-ten Energiebedarfswerte erfolgt durch die Simulation mit OpenPowerNet. Deren Ergeb-nisse sind in Kapitel 4.4.7 aufgeführt

3.7.5 Déterminer les besoins énergétiques

Pour une estimation approximative à l'avance, des valeurs empiriques de la consommation d'énergie des véhicules sont utilisées. Comme ces valeurs empiriques incluent déjà un modèle de bus, l'unité de ces valeurs de consommation d'énergie passe au kWh/km.
Le tableau suivant (tableau 3-15) énumère les valeurs attendues qui sont dérivées des résultats de projets comparables ([89], [90], [91]).

Tableau 3-15 : Valeurs estimées de la consommation d'énergie spécifique

Spezifischer Energieverbrauch : consommation spécifique d'énergie

Modell	spezifischer Energieverbrauch
10 – 12 m Bus	1,5 kWh/km
18 m Bus	2,5 kWh/km
24 m Bus	3,5 kWh/km
Maximum für Systemauslegung (statische Berechnung)	4,5 kWh/km

Maximum für Systemauslegung (statische Berechnung) :
Maximum pour la conception du système (calcul statique NDT : ???)

Ces valeurs servent uniquement de guide pour une évaluation préliminaire et pour vérifier la plausibilité des résultats de simulation ultérieurs. Les valeurs exactes des besoins en énergie sont déterminées par simulation avec OpenPowerNet. Leurs résultats sont énumérés au chapitre 4.4.7.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

95

3.8 Übersicht über den Stand von Obus und HObus
3.8.1 Ausgewählte Beispiele für Obusnetze
3.8.1.1 Übersicht

(…)

Tabelle 3-16: Zahl der Oberleitungsbusse (Fahrzeuge) in der EU [29]

Land	**Anzahl Oberleitungsbusse**
Italien	719
Tschechien	745 (davon Brünn 140)
Rumänien	729 (davon Bukarest 396)
Schweiz	566
Bulgarien	516
Litauen	466 (davon Vilnius 321, Kaunas 145)
Griechenland	366 (Athen)
Slowakei	320
Ungarn	281
Lettland	264 (alle in Riga)
Polen	198
Frankreich	173
Österreich	142 (davon Salzburg 122)
Deutschland	71
Niederlande	40 (Arnheim)
Portugal	20
Spanien	9
Norwegen	6 (Bergen)
Schweden	5 (Landskrona)
Insgesamt	**etwa 5.600**

Die größte Anzahl dieser Betriebe setzt entweder auf reine Solowagen oder führt ihren Be-trieb in oberleitungsfreien Abschnitten mit Fahrzeugen mit Diesel-Hilfsantrieb (hauptsächlich in Italien) durch. Im Folgenden wird ein Überblick über die Entwicklung ausgewählter HObusnetze gegeben.

3.8 Aperçu de la situation des trolleybus et des trolleybus IMC
3.8.1 Exemples choisis de réseaux de trolleybus
3.8.1.1 Vue d'ensemble
(….)

Tabelle 3-16: Nombre de Trolleybus (véhicules) dans l'UE [29]

Pays	**Nombre de trolleybus**
Italie	719
Tchéquie	745 (dont Brünn 140)
Roumanie	729 (dont Bukarest 396)
Suisse	566
Bulgarie	516
Lituanie	466 (dont Vilnius 321, Kaunas 145)
Grèce	366 (Athen)
Slovaquie	320
Hongrie	281
Lettonie	264 (tous in Riga)
Pologne	198
France	173
Autriche	142 (dont Salzburg 122)
Allemagne	71
Pays Bas	40 (Arnheim)
Portugal	20
Espagne	9
Norvège	6 (Bergen)
Suède	5 (Landskrona)
Total	**environ 5.600**

La plus grande part de ces exploitations utilise soit des véhicules solo (NDT 12m), soit exploitent des sections sans lignes aériennes à l'aide de véhicules équipés de moteurs Diesel auxiliaires (NDT appelés bimodes quand la puissance du moteur Diesel est importante et voisine de celle des autobus) (principalement en Italie). Les paragraphes suivants donnent un aperçu du développement de certains réseaux Trolleybus IMC (NDT trolleybus dont l'autonomie est 100% électrique).

A noter que pour l'effectif français,
- il semble légèrement sous-estimé (Lyon 131, Limoges 34, St Etienne 19) soit 184, les livraisons récentes non comptées

- les 25 trolleybus biarticulés de Nancy (Tram sur pneu) n'ont pas été comptés)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

96

Tabelle 3-17: Zahl der Hybridoberleitungsbusse (Fahrzeuge) in der EU [129]

Land	Anzahl Hybridoberleitungsbusse
Italien	7 im Bestand, 8 bestellt, 16 geplant
Tschechien	58 im Bestand, 5 geplant
Schweiz	82 im Bestand, 7 Umbauten, 55 bestellt/geplant
Litauen	nicht bekannte Anzahl in Vilnius
Polen	10 im Bestand, 21 bestellt/geplant
Frankreich	2 im Bestand, 22 bestellt
Österreich	15 bestellt
Deutschland - Eberswalde - Esslingen - Solingen	9 1 4 4+16 geplant
Arnheim (NL)	2 im Bestand
Spanien	6 im Bestand

Tableau 3-17 : Nombre de trolleybus hybrides IMC dans l'EU [129]

Pays	Nombre de trolleybus hybrides IMC
Italie	7 en service, 8 commandés, 16 prévus
Tchéquie	58 en service, 5 prévus
Suisse	82 en service, 7 rééquipés (NDT remplacement du groupe d'autonomie Diesel par des batteries), 55 commandés/prévus
Lituanie	nombre non connu à Vilnius
Pologne	10 en service, 21 commandés/prévus
France	2 en service, 22 commandés
Autriche	15 commandés
Allemagne - Eberswalde - Esslingen - Solingen	9 1 4 4+16 prévus
Arnheim (Pays Bas)	2 en service
Espagne	6 en service

96

3.8.1.2 Eberswalde (BBG – Barnimer Busgesellschaft)

3.8.1.2 Eberswalde (BBG – Barnimer Busgesellschaft)

97

In Abbildung 3-32 wird der gelieferte Hybridobus dargestellt. Es handelt sich bei dem Fahr-zeug um den ersten in Europa eingesetzten Batterie-Hybridoberleitungsbus. Das Hybrid-fahrzeug hat eine elektrische Reichweite von 18 km.

La figure 3-32 montre le trolleybus hybride fourni. Ce véhicule est le premier trolleybus hybride à batterie utilisé en Europe. Le véhicule hybride a une autonomie de 18 km en mode électrique.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

97

Tabelle 3-18: Übersicht Fahrzeuge Eberswalde [47]
Tableau 3-18 : Aperçu des véhicules d'Eberswalde [47].

Fahrzeug-anzahl	**Hilfsantrieb**	**Fahrzeugtyp**	**Inbetrieb-nahme**	**Fahrzeug-kosten [€]**	**Fahr-zeug länge [m]**	**Achslasten [t]**	**Höchstgeschwindigkeit [km/h]**	**Trans-portkapa-zität [Sitz+ Stehpl.]**
Nombre véhicules	**Groupe d'autonomie**	**Type de véhicule**	**Mise en service**	**Coût par véhicule euros**	**Longueur véhicule**	**Charges sur eesieux [t]**	**Vitesse maxi[km/h]**	**Capacité (assise + debout)**
1	Batterie	Solaris/ Cegelec Trollino 18 AC	2012	985.000	18 (1 Ge-lenk, articulé)	7,1 / 11,5 / 10	60 - 65	49 + 175
11	Diesel	Solaris/ Cegelec Trollino 18 AC	2010	885.000	18 (1 Ge-lenk, articulé)	7,1 / 11,5 / 10	60 - 65	49 + 175

La capacité debout est notoirement fausse. A 4 personnes debout par m2, la capacité totale de ce véhicule tourne autour de 100 voyageurs.

97

Tabelle 3-19: Kenndaten des elektrischen Systems für den Hybridoberleitungsbus [47]

Systemkenndaten [Einheit]	**Wert**
Anzahl Zellen	2 x 108 in Serie
Kapazität [Ah]	200
Gewicht (Zellen) [kg]	756
Gewicht (Box) [kg]	1.020
Ladezeit (SOC State Of Charge (dt. Ladezustand) 25-85 %) [min]	75
Zeit für die erneute Ladung nach einer Fahr-strecke von 5 km [min]	Ca. 20
Anzahl der vorausgesetzten Zyklen (SOC 25 - 85 %)	3.000
Anzahl der vorausgesetzten Zyklen (nach 5 km)	12
Gesamtenergie [kWh]	70.4
Ausnutzbare Energie SOC 25-85 % [kWh]	42.2
Ausnutzbare Höchstleistung [kW]	12

Bei den Batteriezellen handelt es sich um Lithium-Eisen-Phosphat-Akkumulatoren (LiFePO4) vom chinesischen Hersteller Winston Battery

Tableau 3-19 : Caractéristiques du système électrique du trolleybus hybride [47].

Données du système [Unité]	**Valeur**
Nombre de cellules	2 x 108 en Serie
Capacité [Ah]	200
Poids (cellules) [kg]	756
Poids (Coffre) [kg]	1.020
Temps de charge (SOC État de charge 25-85 %) [min]	75
Temps pour renouveler la charge après une distance de 5 km [min]	Env . 20
Nombre de cycles supposés (SOC 25 - 85 %)	3.000
Nombre de cycles requis (après 5 km)	12
Énergie totale [kWh]	70.4
Énergie utilisable SOC 25-85 % [kWh]	42.2
Puissance maximale exploitable [kW]	12

Les cellules de la batterie sont des accumulateurs au phosphate de fer lithium (LiFePO4) du fabricant chinois Winston Battery.

Le 12 kW de puissance maximum exploitable semble faible pour une exploitation en ligne avec des voyageurs quand les Groupe de Marche Autonome Diesel les plus faibles ont une puissance de 40 kW

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

98 | **3.8.1.3 Esslingen** | **3.8.1.3 Esslingen**

100

Abbildung 3-33: Fahrzeug Esslingen, Solaris/Kiepe Trollino 18,75 Metrostyle [31]

Tabelle 3-20: Fahrzeugtechnische Kenndaten Solaris/Kiepe Trollino 18,75 Metrostyle [31], [28]

Systemkenndaten [Einheit]	**Wert**
Anzahl Hybridobus	4
Hybridisierungsart	Batterie
Fahrzeugbezeichnung	Solaris Trollino 18.75 Metrostyle
Inbetriebnahme	2016
Fahrzeugkosten [€]	1.000.000
Fahrzeuglänge [m]	18,75 (1 Gelenk)
Achslast [t]	7,1 / 11,5 / 10
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	60-65
Transportkapazität (Steh +Sitz.) [Pers]	110 + 44
Nennleistung [kW]	500
Reichweite elektrisch [km]	10-15
Batteriehersteller	Voltabox
Speichertechnologie	Lithium-Titanat-Oxid
Hersteller Elektriksystem	Knorr-Kiepe
Akku Gesamtenergie [kWh]	46
Ausnutzbare Energie Akkus [kWh]	37
Ausnutzbare Höchstleistung Akkus [kW]	240
Ladekonzept	IMC 150 kW
Energieaufnahme fahrend	150 kW

Bei dem verwendeten Energiespeicher handelt es sich um Lithium-Titanat-Oxid Batterien des Typs Voltabox Paragon [28]. Die Batterien werden je nach Bedarf auf 30 °C gekühlt bzw. geheizt.

Figure 3-33 : Véhicule Esslingen, Solaris/Kiepe Trollino 18.75 Metrostyle [31].

Tableau 3-20 : Caractéristiques des véhicules Solaris/Kiepe Trollino 18,75 Metrostyle [31], [28]

Caractéristiques du système [unité]	**Valeur**
Nombre de trolleybus hybrides	4
Type d'hybridation	Batterie
Désignation du véhicule	Solaris Trollino 18.75 Metrostyle
Mise en service	2016
Coût du véhicule [€]	1.000.000
Longueur du véhicule [m]	18,75 (1 articulation)
Charge à l'essieu [t]	7,1 / 11,5 / 10
Vitesse maximale [km/h]	60-65
Capacité de transport (debout + assis) [Pers]	110 + 44
Puissance nominale [kW]	500
Aurtonomie électrique [km]	10-15
Fabricant des batteries	Voltabox
Technologie de stockage	Lithium-Oxyde de titanate
Fabricant du système électrique	Knorr-Kiepe
Energie totale des batteries [kWh]	46
Energie utilisable des batteries [kWh]	37
Puissance maximale utilisable des batteries [kW]	240
Concept de charge	IMC 150 kW
Absorbtion d'énergie en déplacement (NdT : sans doute lors de la charge sous ligne aérienne)	150 kW

Le système de stockage d'énergie utilisé est une batterie Voltabox Paragon à oxyde de titanate de lithium [28]. Les batteries sont refroidies ou chauffées à 30 °C selon les besoins.

Attention : la capacité debout est sans doute donnée avec 6 personnes debout/m2

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

101	**3.8.1.4 Solingen** Das Oberleitungsbusnetz in Solingen ist mit einer Fahrdrahtlänge von 102 km das größte Deutschlands [42]. Mit 50 Fahrzeugen werden 6 Linien im Netz der Solinger Stadtwerke (SWS) bedient, wobei die Linie 683 in das Gebiet der benachbarten Stadt Wuppertal führt [50].	**3.8.1.4 Solingen** Le réseau de trolleybus de Solingen est le plus important d'Allemagne avec une longueur de ligne aérienne de 102 km [42]. Avec 50 véhicules, 6 lignes sont desservies dans le réseau des Solinger Stadtwerke (SWS), la ligne 683 menant à la région de la ville voisine de Wuppertal [50].	
101	Bei den in Solingen beschafften Fahrzeugen handelt es sich um vier Solaris Trollino 18,75. Für die elektrische Ausrüstung ist Kiepe Electric verantwortlich. Für den Antrieb sind zwei 160 kW Traktionsmotoren im Einsatz [50]. Die wassergekühlten Lithium-Titan-Oxid-Batte-rien vom polnischen Hersteller Impact haben ein Gewicht von 1,2 t und eine Gesamtkapazität von 60 kWh. Das Batteriepack setzt sich hierbei aus vier Einzelpacks mit einer Nenngröße von 15 kWh zusammen. Im Batteriebetrieb stehen kurzzeitig die maximale Leistung von 320 kW sowie eine Dauerleistung von 200 kW zur Verfügung [34]. In Abbildung 3-34 ist der erste ausgelieferte BOB5 dargestellt. Die wesentlichen fahrzeugtechnischen Kenndaten des BOB sind in Tabelle 3-21 abgebildet. 5 BOB = Batterie-Obus	Les véhicules achetés à Solingen sont quatre Solaris Trollino 18,75. Kiepe Electric est responsable de l'équipement électrique. Deux moteurs de traction de 160 kW sont utilisés pour la traction [50]. Les batteries lithium-oxyde de titane refroidies à l'eau du fabricant polonais Impact pèsent 1,2 t et ont une capacité totale de 60 kWh. Le bloc de batteries se compose de quatre blocs individuels d'une taille nominale de 15 kWh. En fonctionnement sur batterie, la puissance maximale de 320 kW est disponible pendant une courte période et la puissance continue est de 200 kW [34]. La figure 3-34 montre le premier tralleybus à batteries livré. Les caractéristiques techniques principales des trolleybus BOB sont indiquées dans le tableau 3-21. 5 BOB = Trolleybus à batteries	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

102

Tabelle 3-21: Fahrzeugtechnische Kenndaten BOB Solingen [34], [50], [45]

Parameter	Wert
Anzahl Hybridobus	4
Hybridisierungsart	Batterie
Fahrzeugbezeichnung	Solaris Trollino 18.75 Metrostyle
Inbetriebnahme	2018
Fahrzeugkosten [€]	900.000
Fahrzeuglänge [m]	18,75 (1 Gelenk)
Achslast [t]	7,1 / 11,5 / 10
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	60-65
Transportkapazität (Steh +Sitz.) [Pers]	69 + 46
Nennleistung [kW]	320
Reichweite elektrisch [km]	20
Batteriehersteller	Impact
Speichertechnologie	Lithium-Titanat-Oxid
Hersteller Elektriksystem	Knorr-Kiepe
Akku Gesamtenergie [kWh]	60
Ausnutzbare Höchstleistung Akkus [kW]	320
Ladekonzept	In-Motion-Charging

Tableau 3-21 : Caractéristiques techniques du véhicule BOB Solingen [34], [50], [45].

Parametre	Valeur
Nombre de trolleybus hybrides	4
Type d'hybridation	Batterie
Désignation du véhicule	Solaris Trollino 18.75 Metrostyle
Mise en service	2018
Coût du véhicule [€]	900.000
Longueur du véhicule [m]	18,75 (1 articulation)
Charge à l'essieu [t]	7,1 / 11,5 / 10
Vitesse maximale [km/h]	60-65
Capacité de transport (debout + assis) [Pers]	69 + 46
Puissance nominale [kW]	320
Aurtonomie électrique [km]	20
Fabricant des batteries	Impact
Technologie de stockage	Lithium-Titanat-Oxid
Fabricant du système électrique	Knorr-Kiepe
Energie totale des batteries [kWh]	60
Puissance maximale utilisable des batteries [kW]	320
Concept de charge	In-Motion-Charging

103

3.8.1.5 Arnheim

In Arnheim besteht Interesse, die Oberleitungslinie 3 von Het Duifje nach Huissen ohne Fahrdrähte zu verlängern. Hierbei sollen in den zwei Hess/Kiepe SwissTrolley 4 Fahrzeugen der Dieselmotorhilfsantrieb durch eine wassergekühlte 160 kW / 30 kWh Batterie ersetzt werden. Die Batterie soll unter Fahrdraht mit 150 kW nachgeladen werden können [29].

3.8.1.5 Arnhem

À Arnhem, il y a intérêt à prolonger la ligne 3 de trolleybus de Het Duifje à Huissen sans ligne aérienne. Le Groupe de Marche Autonome à moteur Diesel des deux véhicules Hess/Kiepe SwissTrolley 4 sera remplacé par une batterie de 160 kW / 30 kWh refroidie à l'eau. La batterie doit pouvoir être rechargée sous le fil de contact avec 150 kW [29].

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

103	**3.8.1.6 Fribourg** Nach der Durchführung von Vergleichsstudien haben der Verkehrsbetrieb Fribourg (TPF) und die Agglomeration Fribourg im März 2018 eine Beschaffung von Hybridobussen verkündet. Hierbei sollen ab Mitte 2020 bis 2021 die ersten zehn Fahrzeuge geliefert werden. Die Fahrzeuge sollen auf der Linie 1 zu Einsatz kommen. Hierbei befindet sich ein 3 km langer Streckenabschnitt im Zentrum unter Fahrdraht. Etwa 1,8 km in Richtung Norden zur Porte de Fribourg als auch in Richtung Süden in die Gemeinde Marly (3,7 km) befinden sich nicht unter Fahrdraht. Es kommen in der Hauptverkehrszeit im 7,5-Minutentakt neun Kurse zum Einsatz. Ansonsten verkehren im 10-Minutentakt sieben Kurse. Sofern sich die beschafften Neufahrzeuge im Betrieb bewähren, sollen im Jahr 2022 weitere 20 Fahrzeuge bestellt werden, um in den Jahren 2023-2025 die 12 SwissTrolley Fahrzeuge auf den Linien 2 und 3 zu ersetzen. Des Weiteren ist eine Verlängerung des elektrischen Betriebs auf der Linie 6, die rund 3,7 km gemeinsam mit der Linie 2 verkehrt, vorgesehen [35].	3.8.1.6 Fribourg (NDT : c'est Fribourg en Suisse Après avoir réalisé des études comparatives, la Société des transports publics de Fribourg (TPF) et l'agglomération fribourgeoise ont annoncé l'achat de trolleybus hybrides en mars 2018. Les dix premiers véhicules doivent être livrés entre la mi-2020 et 2021. Les véhicules doivent être mis en service sur la ligne 1. Ici, on trouve une section de la ligne de 3 km de long située au centre, avec fils de contact. Environ 1,8 km au nord de la Porte de Fribourg ainsi qu'au sud de la commune de Marly (3,7 km) ne sont pas sous ligne aérienne. Pendant les heures de pointe, à fréquence de 7,5 minutes, il y aura 9 véhicules en service. Sinon, sept véhicules pour une fréquence de 10 minutes. Si les nouveaux véhicules achetés font leurs preuves, 20 autres véhicules seront commandés en 2022 pour remplacer les 12 véhicules SwissTrolley sur les lignes 2 et 3 en 2023-2025. En outre, une extension de l'exploitation électrique de la ligne 6, qui est associée à la ligne 2 sur environ 3,7 km, est prévue [35].	
103	**3.8.1.7 St. Petersburg** In St. Petersburg wurde die 14 km lange Oberleitungslinie 23 mit 15 Trolza-Megapolis Fahrzeugen mit einer Länge von 12 m unter dem Einsatz von Toshiba-Batterien im östlichen Teil um 7 km ohne Fahrleitung erweitert [29].	3.8.1.7 Saint-Pétersbourg À Saint-Pétersbourg, la ligne de trolleybus 23 de 14 km de long avec 15 véhicules Trolza-Megapolis d'une longueur de 12 m a été prolongée de 7 km sans ligne aérienne dans la partie orientale en utilisant des batteries Toshiba [29].	
103	**3.8.1.8 Marrakesh** In Marrakesh sind seit September 2017 zehn chinesische Dongfeng-Yangtse-Oberleitungs-fahrzeuge auf einer 10 km langen Obuslinie entlang des Avenu Hassan III im Einsatz. Die Strecke verbindet hierbei die Ortsteile Guelz und Massira und ist lediglich auf einer Strecke von 3 km elektrifiziert. Auf diesem Abschnitt werden die Traktionsbatterien für die Fortsetzung der weiteren Abschnitte aufgeladen. In Abbildung 3-35 ist das in Marrakesh betriebene Fahrzeug dargestellt. Der Obusbetrieb findet auf einer separat bereitgestellten Trasse statt. Weitere drei Linien sind Planung, wovon die nächste im Jahr 2019 eröffnet werden soll. Weitere 15 Hybridoberleitungsfahrzeuge in Gelenkausführung sind bereits bestellt [29].	3.8.1.8 Marrakech A Marrakech, dix trolleybus chinois Dongfeng Yangtze sont en service depuis septembre 2017 sur une ligne de trolleybus de 10 km le long de l'Avenue Hassan III. La ligne relie les districts de Guelz et de Massira et n'est électrifiée que sur une distance de 3 km. Sur cette section, les batteries de traction sont chargées pour la poursuite sur les autres sections. La figure 3-35 montre le véhicule exploité à Marrakech. L'exploitation du trolleybus se fait sur un site propre. Trois autres lignes sont prévues, la prochaine devant être ouverte en 2019. Quinze autres trolleybus hybrides articulés ont déjà été commandés [29].	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

104	3.8.1.9 Zürich Ab 2013 wurden die restlichen Doppelgelenkoberleitungsbusse ab Werk mit Hilfsbatterien ausgestattet. Die Umrüstung sah lediglich die Befahrung von kurzen oberleitungsfreien Abschnitten vor, sodass Investitionen in Fahrleitungen, Kreuzungen und Luftweichen beim Umbau des Albisriedplatzes eingespart werden konnten. Somit fahren die Linien 33 und 72 seit Sommer 2015 planmäßig zwischen Albisriedplatz und Hardplatz im Batteriemodus [29]. Die VBZ sehen im Trolleybus auf stark frequentierten Linien Vorteile gegenüber dem E-Bus und haben daher im Jahr 2016 bekannt gegeben, dass die Buslinien 69 (4,2 km) und 80 (11,8 km) im Zeitraum von 2019 bis 2022 auf HObusbetrieb umgestellt werden sollen. Für die Erschließung der Gebiete beteiligt sich der Verkehrsbetrieb aus Zürich an der Entwicklung des Batteriehybridbusses SwissTrolley plus, welcher größere Abschnitte im Batteriebetrieb befahren kann. An dem Projekt SwissTrolley plus sind neben der VBZ sowohl die Carrosserie Hess AG als auch die ETH Zürich und die Berner Fachhochschule beteiligt [48]. Seit Anfang 2017 wird das Fahrzeug auf dem Netz der Verkehrsbetriebe Zürich getestet. Das Fahrzeug verfügt über eine Lithium-Titanat-Oxid-Batterie mit einer Gesamtenergie von 60 kWh. Die Batterien werden während der Fahrt mit 11 bis 22 kW aus dem Netz als auch dem Bremsstrom geladen. Im Linienbetrieb wird hierdurch eine Reichweite von rund 10 km erreicht. Bei Leerfahrten können bis zu 30 km erreicht werden [29].	3.8.1.9 Zürich À partir de 2013, les autres trolleybus à double articulation furent équipés de batteries auxiliaires au départ de l'usine. Le réaménagement ne prévoyait que l'exploitation de courts tronçons sans lignes aériennes, de sorte que les investissements dans les lignes, les croisements et les aiguillages aériens ont pu être économisés lors de la reconstruction de l'Albisriedplatz. Ainsi, les lignes 33 et 72 fonctionnent en mode batterie entre Albisriedplatz et Hardplatz depuis l'été 2015 [29]. Les VBZ voient des avantages dans le trolleybus par rapport au E-bus (NDT : bus électriques batteries) sur les lignes à forte fréquentation et ont donc annoncé en 2016 que les lignes de bus 69 (4,2 km) et 80 (11,8 km) seront converties à l'exploitation avec des trolleybus IMC entre 2019 et 2022. Afin de désenclaver ces zones, l'autorité zurichoise des transports participe au développement du trolleybus hybride SwissTrolley plus à batterie, qui peut circuler sur de plus grandes sections en mode batterie. Outre les VBZ, la Carrosserie Hess AG, l'ETH Zurich et la Grande Ecole spécialisée bernoise participent au projet SwissTrolley plus [48]. Depuis début 2017, le véhicule est testé sur le réseau des transports publics de Zurich. Le véhicule est équipé d'une batterie Lithium Oxyde de titanate d'une capacité totale de 60 kWh. Les batteries sont chargées en roulant avec 11 à 22 kW en provenance du réseau, ainsi qu'avec le courant du freinage par récupération. En service régulier, cela permet d'atteindre une autonomie d'environ 10 km. À vide, l'autonomie peut atteindre 30 km [29].	A vérifier : la puissance de charge sous ligne aérienne semble faible.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

105	**3.8.2 Übersicht der Hersteller**	**3.8.2 Aperçu sur les constructeurs**	
105	Hybridoberleitungsbusse zeichnen sich mit ihrer Fähigkeit der Aufladung des Energiespeichers bei Fahrt unter Fahrdraht aus. Hierfür wird ein speziell entwickeltes Elektrik-System benötigt. Weltweit führend ist hierbei das von Kiepe Electric entwickelte In-Motion-Charging (IMC®)-System. Das IMC®-System ist hierbei unabhängig vom Karosseriebauer. In Tabelle 3-22 ist eine Übersicht der Hybridoberleitungsbusse mit der Kiepe IMC®-Technik dargestellt.	Les trolleybus hybrides se distinguent par leur capacité à recharger l'unité de stockage d'énergie lorsqu'ils circulent sous le fil de contact. Un système électrique spécialement développé est nécessaire à cet effet. Le système de recharge en mouvement (IMC®) développé par Kiepe Electric est le leader mondial dans ce domaine. Le système IMC® est indépendant du constructeur du véhicule. Le tableau 3-22 donne un aperçu des trolleybus hybrides équipés de la technologie Kiepe IMC®.	Il n'y a quand même pas que Kiepe pour des trolleybus IMC, c'est-à-dire rechargeant leurs batteries sous la ligne aérienne, même si c'est lui qui a déposé cette appellation.
	Im Januar 2018 hat Solaris Bus & Coach bekannt gegeben, dass noch im gleichen Jahr ein Doppelgelenkoberleitungsfahrzeug mit 24 m fertiggestellt und demonstriert werden soll. Das Fahrzeug soll mit zwei 160 kW starke Traktionsmotoren von Cegelec ausgestattet werden [29]. Auf Grund der bisherigen Zusammenarbeit von Kiepe und Solaris im deutschen Obusmarkt ist es vorstellbar, dass auch dieses Fahrzeug mit Hilfe der IMC®-Technologie zu einem Hybridoberleitungselektrobus weiterentwickelt wird. Ein weiteres im Einsatz befindliche Elektrik-System zur Aufladung des Energiespeichers unter Fahrdraht ist das im Rahmen des SwissTrolley plus (siehe Abbildung 3-36) entstan-dene Dynamic Charging (DC) Verfahren, welches in Zusammenarbeit der Hess AG gemeinsam mit der ETH Zürich, Fachhochschule Bern und der VBZ entwickelt worden ist. Das mit zwei 154 kW PMS6-Motoren angetriebene Gelenkfahrzeug wird momentan in Zürich und Luzern getestet und hat eine Länge von 18,74 m [29], [49]. Außerhalb von Europa stellt der chinesische Hersteller Dongfeng-Yangtse „Dual-Source“ Hybridoberleitungsbusse her, die während des Betriebs unter Fahrdraht das Batteriepaket aufladen können. Die Oberleitungsbusse sind hierbei als zweiachsige Fahrzeuge mit 12 m Länge (siehe Abbildung 3-35) und als dreiachsige Gelenkfahrzeuge mit einer Länge von 16 m und 18 m erhältlich [25]. Weitere große chinesische Bushersteller wie Yutong und Zhongtong (Fahrzeug LCK6123GEV in Jinan) [98] haben in den letzten Jahren HObusse ausgeliefert. PMS-Motor = Permanent Magnet Synchronous Motor, dt.: Synchronmotor mit Erregung durch Permanentmagneten	En janvier 2018, Solaris Bus & Coach a annoncé qu'un véhicule trolleybus biarticulé de 24 mètres d serait achevé et présenté la même année. Le véhicule sera équipé de deux moteurs de traction Cegelec de 160 kW [29]. Du fait de la coopération antérieure entre Kiepe et Solaris sur le marché allemand des trolleybus, il est concevable que ce véhicule soit également développé en trolleybus hybride à l'aide de la technologie IMC®. Un autre système électrique utilisé pour charger le système de stockage d'énergie sous le fil de contact est le processus de charge dynamique (DC) développé dans le SwissTrolley plus (voir figure 3-36), qui a été mis au point en coopération avec Hess AG, l'ETH Zurich, la Haute école spécialisée de Berne et les VBZ (NDT : les transports urbains de Zurich). Le véhicule articulé entraîné par deux moteurs PMS6 de 154 kW est actuellement testé à Zurich et à Lucerne et a une longueur de 18,74 m [29], [49]. En dehors de l'Europe, le fabricant chinois Dongfeng-Yangtse produit des trolleybus hybrides "double source" qui peuvent charger le bloc de batteries tout en circulant sous la ligne aérienne. Les trolleybus sont disponibles sous forme de véhicules à deux essieux d'une longueur de 12 m (voir figure 3-35) et de véhicules articulés à trois essieux d'une longueur de 16 m et 18 m [25]. D'autres grands constructeurs chinois d'autobus comme Yutong et Zhongtong (véhicule LCK6123GEV à Jinan) [98] ont livré des Trolleybus IMC ces dernières années. Moteur PMS = Moteur synchrone à aimants permanents, c'est-à-dire : moteur synchrone avec excitation par aimants permanents	Des constructeurs électriciens, notamment SKODA, ont été oubliés

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

106

Tabelle 3-22: Ausgelieferte bzw. bestellte HO-Elektrobusse von Kiepe Electric mit IMC®-Technologie [32]
Tableau 3-22 : Trolleybus IMC Kiepe Electric livrés ou commandés avec la technologie IMC® [32]

Anzahl	**Betreiber**	**Inbetrieb-nahme**	**Karosse-rieher-steller**	**Modell-bezeich-nung**	**Länge [m]**	**Anzahl Gelenke**	**Leistung [kW]**	**Reichweite elektrisch [km]**
Nombre	Exploitant	Mise en service	Constructeur mécanicien	Modèle	Longueur (m)	Nombre d'articulations	Puissance (kW)	Autonomie électrique (km)
20	Linz AG	2017-2018	Van Hool	ExquiCity 24 T	24	2	320	7
4	Verkehrsbetrieb Esslingen	2016	Solaris	Trollino 18.75 Metro-Style	18.75	1	500	10-15
4 (Op-tion +16)	Stadtwerke Solingen	2018	Solaris	Trollino 18,75	18,75	1	320	10-15
452	King County Metro Seat-tle/ SFMTA, San Fran-cisco	2014-2019	Xcelsior	XT60	18.54	1	n/a	min. 5
2014-2019	Xcelsior	XT40	12.5	0	n/a	min. 5		
28	GDRTA, Da-yton	2018-2019	Gillig Corp.	NextGen	12.5	0	n/a	n/a
33	TPG, Genf	2013-2014	Van Hool	ExquiCity	18	1	320	7

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

108	**4 Technische Machbarkeit** **4.1 Eingangsdaten der Simulation** **4.1.1 Infrastruktur** Das Busnetz Berlin-Spandau ist für diese Untersuchung gewählt worden, weil es nachfragestarke Buslinien, parallel zueinander verlaufende Buslinien, potentiell geeignete Straßeninfrastruktur sowie noch keine kurz bis mittelfristigen Straßenbahnplanungen aufweist. Das Gesamtnetz HObus Berlin Spandau erstreckt sich von Kladow im Süden über Dallgow-Döberitz im Osten, dem S+U Bahnhof Zoologischer Garten im Westen bis zum Wilhelmsruher Damm im Nordwesten. Kern des Netzes ist der S+U Bahnhof Rathaus Spandau. Im Norden endet das betrachtete Netz am Aalemannufer. Im Nordosten reicht das Netz bis zum Bahnhof Albrechtshof in Staaken sowie bis zur Stadtrandstr. im Falkenhagener Feld. Das Gesamtnetz HObus Berlin Spandau hat eine Länge von 235,5 km mit insgesamt 573 modellierten Richtungshaltestellen.	4 Faisabilité technique 4.1 Données d'entrée de la simulation 4.1.1 Infrastructure Le réseau de bus de Berlin-Spandau a été choisi pour cette étude car il offre des lignes de bus à très forte demande, circulant sur des itinéraires parallèles, une infrastructure routière potentiellement adaptée et aucune planification de tramway à court ou moyen terme. L'ensemble du réseau de trolleybus IMC de Berlin Spandau s'étend de Kladow au sud à Dallgow-Döberitz à l'est, la station S+U (NDT : RER + Métro) Zoologischer Garten à l'ouest et Wilhelmsruher Damm au nord-ouest. Le cœur du réseau est la station S+U (NDT : RER + Métro) Rathaus Spandau. Dans le nord, le réseau considéré s'arrête à Aalemannufer. Au nord-est, le réseau s'étend jusqu'à la station Albrechtshof dans Staaken ainsi qu'à la rue Stadtrandstr. dans Falkenhagener Feld. Le réseau total de trolleybus IMC Berlin Spandau a une longueur de 235,5 km avec un total de 573 arrêts des deux sens modélisés.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

108

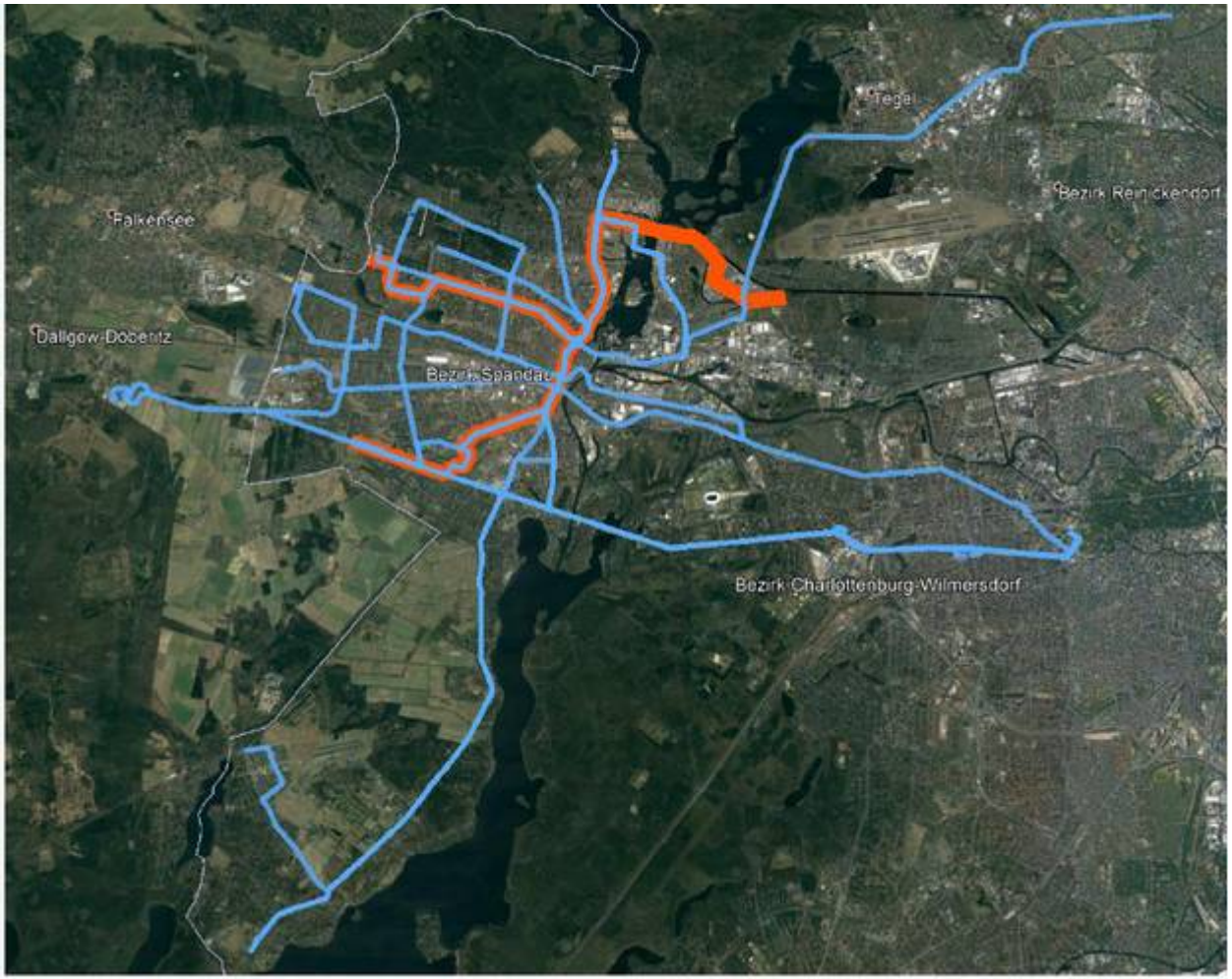


Abbildung 4-1: Übersicht Gesamtnetz HObus Berlin Spandau in blau, perspektivische Straßenbahntrasse in orange, Bildquelle: Google Earth

Figure 4-1 : Vue d'ensemble de l'ensemble du réseau de trolleybus IMC de Berlin Spandau en bleu, perspective de l'itinéraire du tram en orange, source : Google Earth

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

109	Die maximale Streckenhöchstgeschwindigkeit ist im Stadtbereich von Berlin 50 km/h. Tempo-30-Zonen und Bereiche sind modelliert, wo bekannt. Auf der B5 (Hamburger Chaussee) hinter der Stadtgrenze in Richtung Dallgow-Döberitz beträgt die maximale Strecken-höchstgeschwindigkeit 60 km/h. Bei Abbiegungen ist eine maximale Streckenhöchstgeschwindigkeit von 10 km/h modelliert. An großen Kreuzungen findet ein Ampelhalt statt.	La vitesse maximale est de 50 km/h dans la ville de Berlin. Les zones de vitesse 30 sont modélisées lorsqu'elles sont connues. Sur la B5 (Hamburger Chaussee) derrière les limites de la ville en direction de Dallgow-Döberitz, la vitesse maximale est de 60 km/h. Lors des virages, une vitesse maximale de 10 km/h est modélisée. Aux grands carrefours, il y a des feux de circulation.	
109	Das betrachtete Netz wurde für die Modellierung in Abschnitte (AB) unterteilt, welche eine zweistellige Nummer besitzen. Die Abschnitte wurden jeweils in auf- und absteigende Richtung kilometriert, wobei die Richtungsspuren mit "h" für die aufsteigende Richtung und "r" für die absteigende Kilometrierung identifizierbar sind. In Einzelfällen wurden zusätzliche parallele Spuren eingefügt, um an Kreuzungen oder Wendeschleifen abhängig von der Relation das Fahren mit oder ohne Fahrdraht abbilden zu können; diese wurden zusätzlich mit Ziffern, z. B. „h2“, versehen.	Pour les besoins de la modélisation, le réseau considéré a été divisé en sections (AB), qui ont un numéro à deux chiffres. Les sections étaient chacune avec des points kilométres dans le sens croissant et décroissant, les sens étant identifié par "h" (NDT : h pour Hinfahrt Aller) pour le sens croissant et "r" (NDT r piur Ruckfahrt Retour) pour le kilomètrage décroissant. Dans certains cas, des voies parallèles supplémentaires ont été ajoutées afin de pouvoir cartographier la conduite avec ou sans fil de contact aux croisements ou aux boucles de retournement selon la relation ; celles-ci ont en outre été dotées de numéros, par exemple "h2".	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

110	**4.1.2 Betriebskonzept** In Berlin-Spandau verkehren derzeit 25 Linien der BVG. Ein Großteil der Linien verkehrt heute aufgrund der hohen gebündelten Verkehrsnachfrage als Gelenk- oder Doppeldeckerbus in dichter Taktfolge. Da davon auszugehen ist, dass die Verkehrsnachfrage in Spandau in den nächsten Jahren weiter ansteigen wird, sieht die BVG für das Jahr 2030 weitere Taktverdichtungen und auf einigen Linien den Einsatz größerer Fahrzeuge vor. Es sind also linienspezifisch sehr hohe Platzkapazitäten zur Verfügung zu stellen. Dies ist einer der wesentlichen Gründe, warum Spandau auch von der BVG als potenzielles Einsatzgebiet für den HO-Bus-Betrieb gesehen wird. Aufgrund des vielfach achsenförmigen, gut gebündelten Verlaufs der Linien und der Höhe der Fahrgastzahlen, sind bestimmte Korridore in Spandau vom Systemansatz her grundsätzlich für den Einsatz eines schienengebundenen Systems (Straßenbahn) und genauso auch für Oberleitungsbus geeignet. Ein Straßenbahnbetrieb in Spandau ist auch im Nahverkehrsplan Berlin 2019-2023 als mögliche Option vorgesehen. Das gegebene Straßen-netz bietet hierfür gute Voraussetzungen. Mit dem Hybridoberleitungsbus und der dadurch möglichen flexiblen Kombination spurgeführter und nicht spurgeführter Abschnitte könnte ein HObusnetz größer ausgelegt werden und mehr heutige Buslinien ersetzen als ein neues Straßenbahnnetz. Für die vorliegende Machbarkeitsuntersuchung zum Hybridoberleitungsbus hat die BVG 15 Linien als grund-sätzlich planungsrelevant ausgewählt (siehe Tabelle 4-1). In der vorliegenden Studie wird zunächst eine vollständige Umstellung dieser Dieselbuslinien auf HObus angenommen, d.h. die bestehenden Straßenbahnplanungen für Spandau bleiben unberücksichtigt. In ei-nem ergänzenden Szenario wurden anschließend auch die Straßenbahnplanungen einbezogen.	4.1.2 Concept d'exploitation À Berlin-Spandau, il y a actuellement 25 lignes des BVG (NDT ; les transports urbains de Berlin). En raison de la forte demande simultanée de transport, la plupart des lignes fonctionnent maintenant en bus articulés ou à étage à intervalles réduit. Comme on peut supposer que la demande de transport à Spandau continuera d'augmenter dans les années à venir, les BVG prévoient d'augmenter la fréquence du service en 2030 et d'utiliser des véhicules plus capacitaires sur certaines lignes. Cela signifie que de très grandes capacités devront être mises à disposition pour des lignes spécifiques. C'est l'une des principales raisons pour lesquelles les BVG considèrent également Spandau comme un domaine d'application potentiel pour l'exploitation de trolleybus IMC. En raison de la multiplicité des axes, du tracé bien groupé des lignes et du nombre élevé de passagers, certains couloirs de Spandau se prêtent bien à l'utilisation d'un système ferroviaire (tramway) et aussi de trolleybus. Une exploitation de tramways à Spandau est également prévue comme option possible dans le plan de transport local Berlin 2019-2023. Le réseau routier existant offre de bonnes conditions pour cela. Avec le trolleybus hybride et la combinaison flexible de sections en site propre ou non qui en résulte, un réseau de trolleybus IMC pourrait être conçu plus vaste et remplacer plus de lignes de bus actuelles qu'un nouveau réseau de tramways. Pour la présente étude de faisabilité sur le trolleybus hybride, les BVG ont sélectionné 15 lignes comme étant fondamentalement pertinentes pour la planification (voir tableau 4-1). La présente étude suppose initialement une conversion complète de ces lignes de bus Diesel en trolleybus IMC, c'est-à-dire que les plans existants de tramway pour Spandau ne sont pas pris en compte. Dans un scénario complémentaire, les plans de tramway ont ensuite été inclus.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

116	Die Geschwindigkeiten und Fahrzeiten des HO-Bus werden genauso angesetzt wie die des heutigen Dieselbusses. Tendenziell kann der HOBus aufgrund der besseren Beschleunigungswerte etwas schneller sein, sodass sich ein kleiner Fahrzeitpuffer ergeben kann, der bei der vereinfachten Fahrplanerstellung und Umlaufberechnung jedoch hier nicht berücksichtigt ist. Die Fahrplanlagen können sich aufgrund der gleichen Fahrzeiten von HO- und Dieselbus aber weitgehend an den heutigen Fahrplanlagen und den heutigen Wendezeiten orientieren.	Les vitesses et les temps de parcours du trolleybus IMC sont exactement les mêmes que ceux des bus Diesel actuels. Le trolleybus IMC peut avoir tendance à être un peu plus rapide en raison des meilleures valeurs d'accélération, de sorte qu'il peut en résulter une marge de régularité plus faible, ce qui n'est pas pris en compte ici dans la création simplifiée des horaires et le calcul du temps de rotation. Les horaires peuvent s'appuyer dans une large mesure sur les horaires et temps de demi-tour actuels du fait des mêmes temps de parcours des trolleybus IMC et des bus Diesel.	Si effectivement pour des bus de 18 mètres, le trolleybus ne présente plus d'avantages significatifs en terme d'accélération, du fait des moteurs Diesel puissants, il n'en est pas de même pour des bi-articulés où comparativement, le trolleybus biarticulé devrait surclasser un biarticulé Diesel, dont la puissance apparaît limitée face à la masse en charge du véhicule
117	Anhand der vereinfachten Umlaufrechnung ergibt sich ein gesamter Fahrzeugbedarf von 172 Fahrzeugen (zzgl. Reserve). Diese sind notwendig, um die Durchführung aller Fahrplanfahrten der 15 ausgewählten Linien zu gewährleisten.	Sur la base du calcul simplifié de la rotation, le nombre total de véhicules requis est de 172 (la réserve venant en plus). Ils sont nécessaires pour garantir que tous les trajets prévus par les horaires des 15 lignes sélectionnées puissent être assurés.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

121

4.1.4 Eingangsdaten Fahrzeugkonfiguration

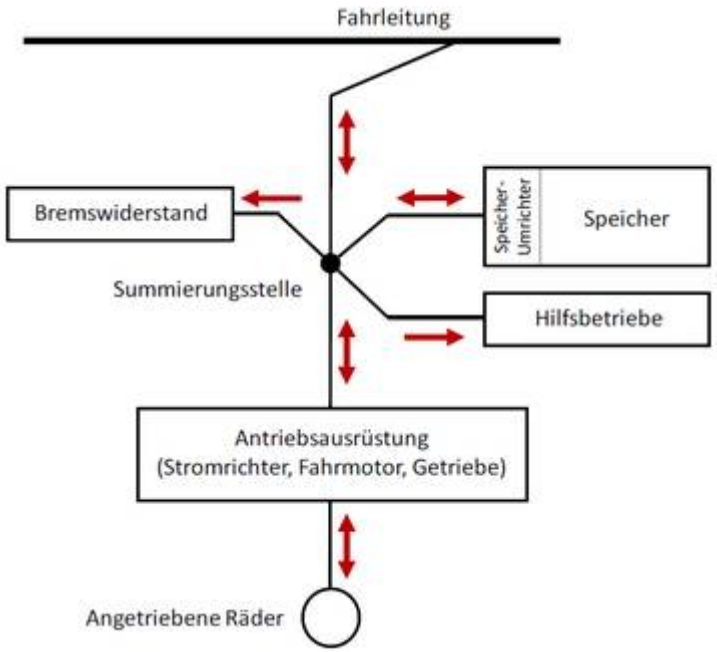


Abbildung 4-9: Prinzipdarstellung Leistungsfluss im Fahrzeugmodell Simulation

4.1.4 Données d'entrée de la configuration du véhicule

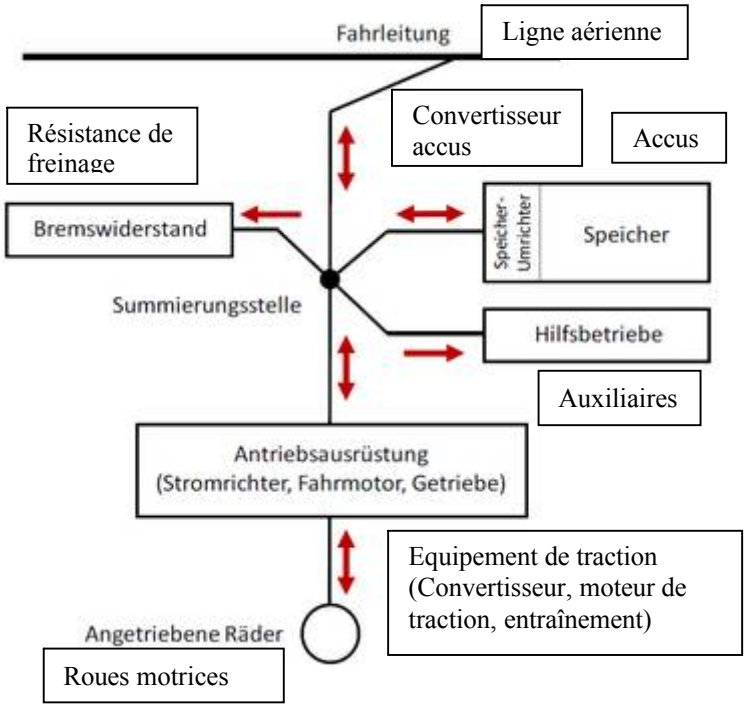


Figure 4-9 : Représentation du principe des flux de puissance dans la simulation du modèle de véhicule

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

121	Der Fahrleitung wird die Leistung entnommen und an die Antriebsausrüstung, die Hilfsbetriebe und den Speicher transferiert. Falls die Strombegrenzung am Stromabnehmer erreicht werden sollte, wird zuerst die Zuteilung an den Speicher reduziert und falls dies nicht reichen sollte, auch der Antriebsaurüstung. Im Falle generatorischer Bremsung wird die verfügbare Leistung zuerst an die Hilfsbetriebe gegeben, danach verbleibende Leistung an den Speicher (falls erforderlich) und die danach noch verbleibende Leistung geht in die Rückspeisung. Sollte die Bremsleistung in allen drei Abnehmern nicht absetzbar sein, geht sie auf den Bremswiderstand. Wenn die aus der generatorischen Bremsung verfügbare Leistung nicht zur Deckung des Leistungsbedarfs von Hilfsbetrieben und Speicher ausreichen sollte, wird die Differenz aus der Fahrleitung zugeführt.	L'énergie est prélevée sur la ligne aérienne de contact et transférée à l'équipement de traction, aux auxiliaires et au stockage. Si la limitation de courant aux perches est atteinte, l'allocation au stockage est d'abord réduite et si cela ne suffit pas, également à l'équipement de propulsion. Dans le cas du freinage par récupération, la puissance disponible est d'abord donnée aux auxiliaires, puis la puissance restante est donnée à l'accumulateur (si nécessaire) et la puissance restante est renvoyée au système de récupération. S'il n'est pas possible de dissiper la puissance de freinage dans les trois consommateurs, elle va à la résistance de freinage. Si la puissance disponible du freinage par récupération n'est pas suffisante pour couvrir les besoins en énergie des opérations auxiliaires et des accumulateurs, la différence est alimentée par la ligne aérienne.	« la puissance restante est renvoyée au système de récupération » c'est à dire : - dans la ligne aérienne pour être utilisée par un autre consommateur ou à défaut dans la sous-station qui renvoie au fournisseur d'énergie si elle est réversible, - dans des résistances de freinage du véhicule si la ligne aérienne n'a pas pu absorber

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

122

Tabelle 4-3: Technische Daten der in der Simulation verwendeten Busse (Speicherdaten siehe Kapitel 4.1.5)

Tableau 4-3 : Données techniques des bus utilisés dans la simulation (données des accumulateurs voir chapitre 4.1.5)

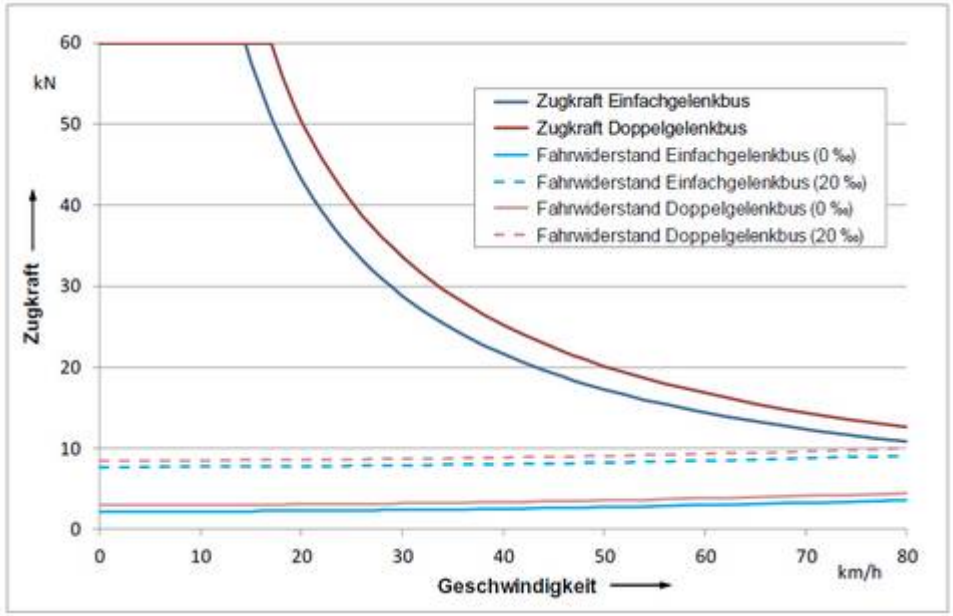
Eigenschaft **Caractéristiques**	**Einheit** **Unité**	**Einfachgelenk-bus** **Trolleybus articulé simple**	**Doppelgelenkbus** **Trolleybus biarticulé**
Länge Longueur	m	19	25
Leermasse Masse à vide	t	18	24
Besetztmasse Masse en charge	t	28	39
Faktor rotierende Massen Coefficient de masses rotatives		1,07	1,073
Höchstgeschwindigkeit Vitesse maximum	km/h	85	80
Beschleunigungsbegrenzung accélération maximum	m/s²	1,1	1,1
Verzögerungsbegrenzung Décélération maximum	m/s²	0,9	0,9
Max. mech. Leistung (am Rad) Puissance mécanique maximum (à la roue) Traktion Traction generatorische Betriebsbremsung Récupération au freinage	kW	 240 360	 280 420
Durchschnittlicher Wirkungsgrad des Traktionsstranges Rendement moyen de la chaine de traction		0,86	0,86
Hilfsbetriebeleistung (mit Klima.) Charge des auxiliaires (avec climatisation) installiertes Maximum Maximum installé für Energiebedarf 5 Monate Pour la demande en énergie pendant 5 mois für Energiebedarf 7 Monate Pour la demande en énergie pendant 7 mois	 kW kW kW	 45 33,75 15	 63 47,25 21
Spannungsabhängige Strombegrenzung (angelehnt an EN 50388) Limitation du courant en fonction de la tension (basée sur la norme EN 50388)		500…600 V: 90…767 A; >600 V: 767 A	500…600 V: 126…952 A; >600 V: 952 A
Max. Stillstandsstrom (Vorgabe BVG) Courant maxi à l'arrêt (donnée BVG)	A	80	80
Max. Rückspeisespannung Tension maxi pour la récupération	V	950	950

Anmerkung: Die mechanischen Grunddaten des Einfachgelenkbusses sind ähnlich dem bei BVG vorhandenen Diesel-Doppelstockbus NEOMAN A39 (außer Länge/Höhe), so dass bei Ersatz von Einfachgelenkbussen durch Doppel-stockbusse die Aussagen der Berechnung prinzipiell trotzdem gelten wür-den.

Nota : Les données mécaniques de base de l'autobus articulé simple sont similaires à celles de l'autobus Diesel à étage NEOMAN A39 (à l'exception de la longueur/hauteur), de sorte que lorsque des autobus articulés simples sont remplacés par des autobus à étage, les résultats du calcul restent en principe applicables. (NDT : il semble que ce paragraphe relatif aux bus Diesel n'ait rien à faire là).

Sous l'appellation bus, il faut comprendre trolleybus

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

122	In der Praxis sind Doppelgelenkbusse oft mit 320 kW motorisiert. Diese Traktionsleistung ist für Städte mit höheren Steigungen beispielsweise im Alpenraum notwendig. In Berlin und insbesondere in Spandau gibt es nur wenige kurze Steigungsstrecken mit geringeren Gradienten. Zur Reduzierung kurzzeitiger Leistungsspitzen, die maßgeblich den Investiti-onsaufwand beeinflussen, wird daher empfohlen, eine Traktionsleistung für den Doppelgelenkbus auch im Hinblick auf die betriebliche Höchstgeschwindigkeit von 280 kW (Fahren) zu bestellen. Die elektrische Bremsleistung sollte entsprechend nicht höher als 420 kW gewählt werden. Abbildung 4-10 zeigt das Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm und die Fahrwiderstände beider simulierter Bustypen. Die Differenzkraft zwischen Zugkraft und Fahrwiderstand steht als Beschleunigungskraft für die Realisierung der Beschleunigung zur Verfügung.	En pratique, les trolleybus à double articulation sont souvent motorisés avec 320 kW. Cette puissance de traction est nécessaire pour les villes ayant une forte pente, par exemple dans la région alpine. À Berlin, et surtout à Spandau, il n'y a que quelques itinéraires en pente, avec des pentes plus faibles. Afin de réduire les pics de puissance d'une durée limitée, qui ont un impact significatif sur les coûts d'investissement, il est recommandé de commander pour le bus à double articulation, également en tenant compte de la vitesse maximale d'exploitation, une puissance de 280 kW (traction). En conséquence, la puissance de freinage électrique ne doit pas être choisie supérieure à 420 kW. La figure 4-10 montre le diagramme effort/vitesse et les résistances à l'avancement des deux types de bus simulés. L'effort différentiel entre l'effort de traction et la résistance à l'avancement est disponible comme effort d'accélération pour la réalisation de l'accélération.	Par bus, il faut comprendre trolleybus
123	 Abbildung 4-10: Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm beider simulierter Bustypen sowie deren Fahrwiderstände für Ebene und 20 ‰ Steigung Figure 4-10 : Diagramme Effort/vitesse des deux types de bus simulés et de leurs résistances à l'avancement sur plat et en rampe de 20 ‰ Zugkraft : Effort de traction Geschwindigkeit : vitesse Einfachgelenkbus : bus articulé simple Doppelgelenkbus : bus biarticulé Fahrwiderstand : résistance à l'avancement		Par bus, il faut comprendre trolleybus ; A noter qu'une rampe de 20 ‰, soit 2% (2 pour cent), c'est quasiment du plat pour un trolleybus quand on sait que des rampes de 13% sont courantes (notamment à Nancy pour des trolleybus biarticulés) et qu'à San Francisco il y a des rampes de 17% et 22,8% (plus que le fameux cable car, mais il semble que là, les trolleybus articulés ne sont pas autorisés)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

124	· Maximaler Stillstandsstrom Der Stromübertritt an der Kontaktstelle zwischen Schleifschuh und Fahrdraht führt zu einer bedeutenden Erwärmung des Kontaktbereichs. Bei Bewegung des Fahrzeugs ist die Wärmezufuhr lokal zeitlich eng begrenzt. Im Stillstand dagegen wird über einen längeren Zeitraum Wärme an derselben Stelle eingetragen. Dies kann zur Beschädigung von Fahrdraht und/oder Schleifstück führen. Deshalb muss der Gesamtstrom des Fahrzeugs im Stillstand beschränkt werden. Im Gegensatz zu Ei-senbahnen existiert kein Grenzwert für den maximalen Stillstandsstrom, er ist jeweils im Einzelfall festzulegen (Festlegung BVG: 80 A). Praktisch ist beim Obus als Einzelfahrzeug der Hilfsbetriebestrom unkritisch im Stillstand. Beim HObus kommt jedoch noch der Ladestrom des Speichers hinzu. In der Simulation wird der nach Abzug des Hilfsbetriebebedarfs verbleibende Spielraum für die Speicherladung genutzt, falls erforderlich.	Courant maximal à l'arrêt Le transfert de courant au point de contact entre le frotteur de la tête de perche et le fil de contact entraîne un échauffement important de la zone de contact. Lorsque le véhicule est en mouvement, l'apport de chaleur est localement limité dans le temps. En revanche, lorsque le véhicule est à l'arrêt, la chaleur est produite au même endroit pendant une période plus longue. Cela peut entraîner des dommages au fil de contact et/ou au frotteur. Pour cette raison, le courant total du véhicule à l'arrêt doit être limité. Contrairement aux chemins de fer, il n'existe pas de valeur limite pour le courant maximal à l'arrêt ; il doit être déterminé au cas par cas (Prescription des BVG transports de Berlin : 80 A). Pratiquement avec le trolleybus simple, le courant pour les auxiliaires n'est pas critique à l'arrêt. Avec le trolleybus IMC, le courant de charge des batteries vient en plus. Dans la simulation, le courant restant après déduction du courant nécessaire pour les auxiliaires est utilisé pour la charge des batteries, si nécessaire.	
124	**4.1.5 Speicherkonfiguration**	**4.1.5 Configuration des accumulateurs**	
130	**4.2 Elektrische Netzinfrastruktur**	4.2 Infrastructure électrique	
130	**4.2.1 Unterwerke und Anschluss an die Strecke**	4.2.1 Sous-stations et raccordement à la ligne	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

131

Transformator : **Transformateur** Transformator und Gleichricter 2 existieren nur an ausgewählten Standorten : **Le transformateur et le redresseur 2 n'existent qu'à certains endroits.** Gleichrichter : **Redresseur** An ausgewählten Standorten existieren Abgänge zu weiteren Speisebereichen : . **A des endroits, il y a des départs vers d'autres zones alimentées**. Speisekabel mit Leistungssschalter (HSCB High Speed Circuit Breaker) : **Câble d'alimentation avec disjoncteur ultra rapide (HSCB)** Rückleitercable : Câble de retour du courant An ausgewählten Standorten abweichende Langen : **Longueurs différentes à certains endroits**	Sammelschiene : **Barre collectrice** Fahrdraht : **Fil de contact** Querverbinder (entspricht ca) : **Liaisons transversales (correspond à environ)** aufsteigend : **croissant** Spur h Spur r : **Voie aller voie retour** Trenner : **sectionneurs** Querverbinder alle 100m und an Einspeisungen : **Liaisons transversales tous les 100 m et aux départs d'alimentation** Abstand : **Distance**

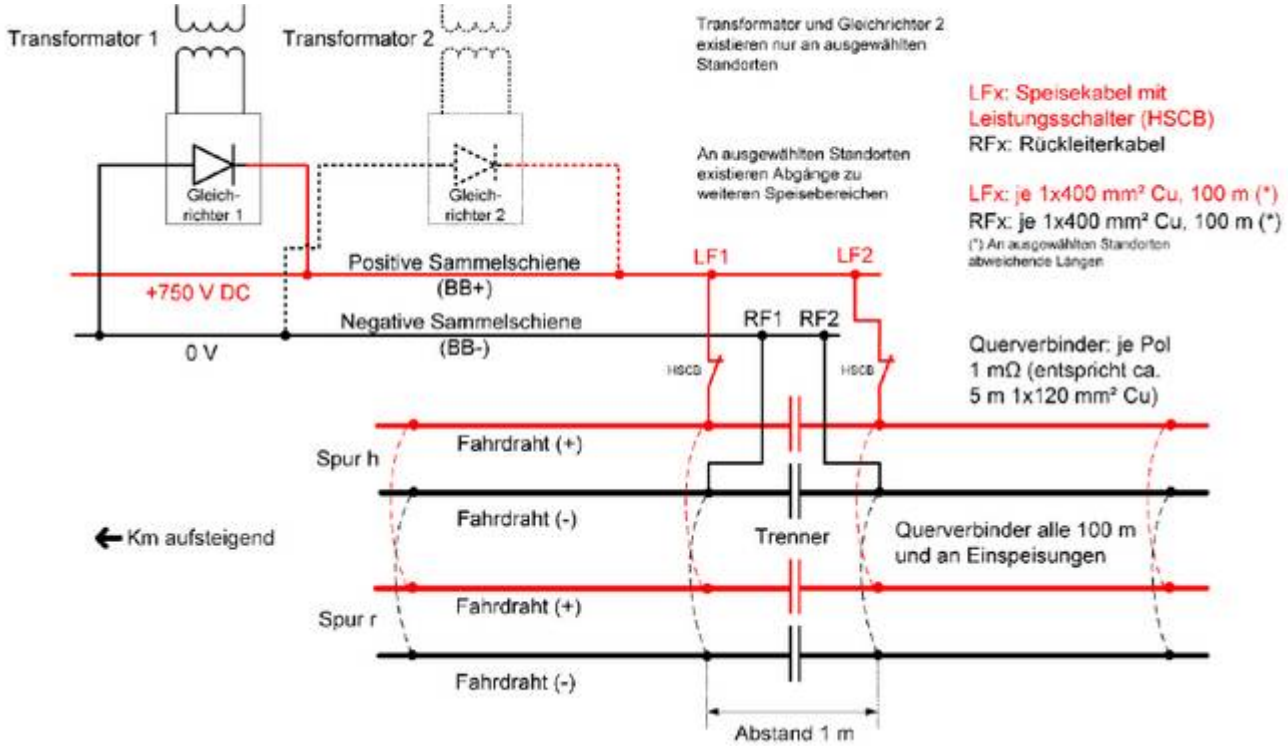


Abbildung 4-13: Prinzipdarstellung der Unterwerks- und Fahrleitungsmodellierung in der Simulation
Figure 4-13 : Représentation de principe de la modélisation de la sous-station et de la ligne aérienne de contact dans la simulation.

Certaines lignes aériennes trolleybus sont alimentées en potentiel flottant, c'est-à-dire qu'aucun fil n'est au potentiel zéro et mis à la terre.
Sur certaines installations, le fil + des 2 sens est au milieu, le le fil - est à l'extérieur

On peut aller sur le site des TPG (transports publics de Genève) qui est remarquable : https://www.tpg.ch/sites/default/files/2019-12/11_Installation%20pour%20la%20traction%20%C3%A9lectrique.pdf

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

132

Tabelle 4-6: Daten der verwendeten elektrischen Leiter
Tableau 4-6 : Caractéristiques des conducteurs électriques utilisés

Leiter Netzmodell Conducteur modèle de réseau	**Beschreibung**	Description	**Material und Querschnitt** Matière et section	**resultierender Widerstand [Ω/km] Résistance résultante** [Ω/km]
H	Fahrdraht (+)	Fil de contact +	BRi100 (Cu 100 mm²)	0,247
R	Fahrdraht (-)	Fil de contact -	BRi100 (Cu 100 mm²)	0,247
H2	2. Fahrdraht (+)	Fil de contact 2 +	BRi100 (Cu 100 mm²)	0,247
R2	2. Fahrdraht (-)	Fil de contact 2 -+	BRi100 (Cu 100 mm²)	0,247
HV	Verstärkungsleiter (+)	Câble Feeder +	Cu 120 mm²	0,171
RV	Verstärkungsleiter (-)	Câble Feeder -	Cu 120 mm²	0,171
LF-kkkk-mmnn+	Speisekabel mit „kkkk“ = Kürzel des Unterwerks, „mm“ = AB-Nummer, nn = Spur u. ggf. Speisebereichsnummer	Câble d’alimentation	Cu 400 mm²	0,051
RF-kkkk-mmnn-	Rückleiterkabel mit „kkkk“ = Kürzel des Unterwerks, „mm“ = AB-Nummer, nn = Spur u. ggf. Speisebereichsnummer	Câble de retour	Cu 400 mm²	0,051
(keine Bezeichnung) (pas de désignation)	Längsverbinder über Fahr-drahtlücken	Liaisons longitudinales au dessus des trous de fil de contact	Cu 120 mm²	0,171
(keine Bezeichnung) (pas de désignation)	Längsverbinder über Fahr-drahtlücken	Liaisons longitudinales au dessus des trous de fil de contact	Cu 240 mm²	0,086
(keine Bezeichnung) (pas de désignation)	Querverbinder zwischen ver-schiedenen Spuren eines AB (H bzw. R) sowie zwischen H/HV bzw. R/RV einer Spur	Liaison transversale entre différentes voies d'une section AB (H ou R) ainsi qu'entre H/HV ou R/RV d'une voie.	-	0,001 Ω je Verbinder, ein Verbinder 0,001 Ohm par liaison, une liaison tous les 0,1 km

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

133	**4.3 Entwickelte Szenarien** **4.3.1 Vorgehen** Zunächst wurde eine Variante mit einem sehr hohen Fahrleitungsanteil für das Netz Spandau als Grundlage für die Analyse der elektrischen Ergebnisse und die sich daraus ergebene Iteration für die mögliche Reduktion der fahrleitungsgebundenen Abschnitte erstellt. Für diese Maximalvariante mit dem höchsten Elektrifizierungsgrad (Szenario A) wurde eine elektrische Netzkonfiguration ermittelt, die ohne Weichen- oder Kreuzungselemente in der Fahrleitung auskommt und auch für die Bereiche um das Schloss Charlottenburg und die Alstadt Spandau einen batterieelektrischen Betrieb vorsieht. Das Szenario A dient als Ausgangspunkt für die technische und wirtschaftliche Machbarkeit, stellt allerdings als solches kein für die Durchführung umzusetzendes Szenario dar und wird daher in der Ergebnisdarstellung nicht explizit detailliert dargestellt.	4.3 Scénarios développés 4.3.1 Procédure Tout d'abord, une variante avec un pourcentage de ligne aérienne très élevé pour le réseau de Spandau a été créée comme base pour l'analyse des résultats électriques et l'itération qui en résulte pour la réduction éventuelle des sections avec ligne aérienne. Pour cette variante maximale avec le plus haut degré d'électrification (scénario A), on a déterminé une configuration du réseau électrique qui ne nécessite aucun élément d'aiguillage ou de croisement dans la ligne aérienne et qui prévoit également une exploitation électrique par batterie pour les zones autour du château de Charlottenburg et de vieille ville de Spandau. Le scénario A sert de point de départ pour la faisabilité technique et économique, mais en tant que tel, il ne représente pas un scénario à mettre en œuvre et n'est donc pas explicitement présenté en détail dans la présentation des résultats.	Scénario A : de la ligne aérienne partout sauf dans les zones où il devrait y avoir des aiguillages ou des croisements et dans deux zones architecturales
133	Ausgehend von Szenario A wurde eine elektrische Netzkonfiguration mit einem möglichst geringen Anteil an Fahrleitung abgeleitet (Szenario B). Die Anzahl der Unterwerke und die weitere elektrische Ausrüstung wurden entsprechend reduziert, außerdem wurden an einigen Orten geographisch naheliegende Unterwerke zu jeweils einem Standort zusammengefasst. Schließlich wurden einige Ladepunkte an Endhaltestellen hinzugefügt, um den Ladestand der Batterie bei längerem Aufenthalt der Fahrzeuge beibehalten bzw. erhöhen zu können. Dabei besteht ein Ladepunkt aus einem kurzen Stück Oberleitung, welche aus dem nächsten Unterwerk mit einem eigenen Speise- und Rückleiterkabel angeschlossen wird und auch eigene Leistungs- und Trennschalter besitzt.	Sur la base du scénario A, une configuration du réseau électrique avec la plus faible proportion possible de lignes aériennes de contact a été dérivée (scénario B). Le nombre de sous-stations et les autres équipements électriques ont été réduits en conséquence, et dans certains endroits, des sous-stations géographiquement proches ont été regroupées en une seule sur un seul site. Enfin, quelques points de charge ont été ajoutés aux arrêts terminaux afin de maintenir ou d'augmenter le niveau de charge des batteries pendant les arrêts prolongés des véhicules. Un équipement de recharge se compose d'un court tronçon de ligne aérienne, qui est relié à la sous-station suivante par son propre câble d'alimentation et de retour et qui possède également ses propres disjoncteurs et sectionneurs.	Scénario B : le moins de ligne aérienne possible

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

133	Das Szenario C ist von Szenario B abgeleitet und berücksichtigt, dass einzelne Buslinien perspektivisch gemäß dem Nahverkehrsplan 2019-2023 durch einen Straßenbahnbetrieb ersetzt werden sollen. Im Bereich Spandau betrifft es die Achsen Paulsternstraße-Garten-feld-Wasserstadt-Rathaus Spandau-Heerstraße Nord und Rathaus Spandau-Falkenhagener Feld. Durch die im Vergleich zum Bus notwendige Schieneninfrastruktur wird von längeren Planungs- und Realisierungszeiträumen für das schienengebundene System ausge-gangen. Der Betrieb der Linien 136, 236 und X36 sowie 137 und M37 wird für das Szenario C nicht mehr berücksichtigt. Daraus ergibt sich eine Reduktion der betrieblichen Strecken-kilometer auf 200 km bzw. auf 85 % im Vergleich zu den Szenarien A und B. Analog dazu wurden Fahrleitungsbereiche und Unterwerke reduziert. Auf die technischen Möglichkeiten des Parallelbetriebs von Straßenbahn und HObus wurde im Grundlagen Kapitel eingegan-gen. Es wird empfohlen die technische und wirtschaftliche Machbarkeit zu prüfen und die Planung von Straßenbahn und HObus zu synchronisieren, da insbesondere Unterwerke / Unterwerksstandorte von beiden Systemen gemeinsam genutzt werden können.	Le scénario C est dérivé du scénario B et tient compte du fait que certaines lignes de bus doivent être remplacées par des services de tramway à l'avenir, conformément au plan de transport local 2019-2023. Dans la zone de Spandau, cela concerne les axes Paulsternstraße-Gartenfeld-Wasserstadt-Rathaus Spandau-Heerstraße Nord et Rathaus Spandau-Falkenhagener Feld. En raison de l'infrastructure ferroviaire requise par rapport aux autobus, on suppose que les périodes de planification et de mise en œuvre sont plus longues pour le système ferroviaire. L'exploitation des lignes 136, 236 et X36 ainsi que 137 et M37 n'est plus prise en compte pour le scénario C. Il en résulte une réduction du nombre de lignes. Il en résulte une réduction des kilomètres de lignes exploitées à 200 km ou à 85 % par rapport aux scénarios A et B. De même, les zones avec ligne aérienne et sous-stations ont été réduites. Les possibilités techniques d'une exploitation parallèle du tram et du Trolleybus IMC ont été abordées dans le chapitre sur les principes de base. Il est recommandé de vérifier la faisabilité technique et économique et de synchroniser la planification du tram et du Trolleybus iMC, car notamment les sous-stations / emplacements de sous-stations peuvent être utilisés conjointement par les deux systèmes.	Scénario C : moins de lignes trolleybus car un futur tramway est prévu sur certaines lignes

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

134	**4.3.2 Szenario A - Gesamtnetz und hoher Elektrifizierungsgrad** Die Länge des untersuchten Streckennetzes beträgt ca. 125 km (davon 110 km in Doppelrichtung und 15 km in Einzelrichtung), woraus sich ein betriebliches Netz von 235 km ergibt. Das Szenario sieht vor, 95 Streckenkilometer doppelspurig und 7 Streckenkilometer einspurig mit Fahrleitung zu versehen. Somit werden insgesamt 197 km des betrieblichen Netzes elektrifiziert, was einem Fahrleistungsanteil von 84 % entspricht. Die Positionierung der Unterwerke wurde zunächst anhand der Lage der Endhaltestellen sowie der Kreuzungen vorgenommen, danach wurden weitere Unterwerke entlang der Abschnitte, jeweils etwa alle 1,5 km bis 2,0 km voneinander entfernt. Die sich ergebene Netzkonfigurationen wurde anschließend mittels elektrischer Netzsimulation simuliert und hinsichtlich der technischen Bewertungskriterien analysiert. Auf Basis dieser Analyse wurden die Netzkonfigurationen adaptiert, bis eine finale den Bewertungskriterien entsprechende Netzkonfiguration gefunden wurde. Die tabellarische Darstellung einer finalen Netzkonfiguration mit den Oberleitungsbereichen, den Bereichen mit Verstärkungsleitungen und den Bereichen mit doppelter Fahrdrahtausführung erfolgt in Kapitel 10.2.1. Zur Übersicht sind die elektrifizierten Abschnitte mit Oberleitung für das Szenario A in Abbildung 4-14 dargestellt.	4.3.2 Scénario A - Réseau total et degré élevé d'électrification La longueur du réseau étudié est d'environ 125 km (dont 110 km à double sens et 15 km à sens unique), ce qui donne un réseau exploitable de 235 km. Le scénario prévoit 95 km de double voie et 7 km de voie simple avec ligne aérienne. Ainsi, un total de 197 km du réseau opérationnel sera électrifié, ce qui correspond à une part kilométrique de 84 %. Le positionnement des sous-stations a d'abord été basé sur l'emplacement des terminus ainsi que des croisements, puis des sous-stations supplémentaires ont été placées le long des sections, tous les 1,5 km à 2,0 km environ. Les configurations de réseau résultantes ont ensuite été simulées à l'aide de la simulation de réseau électrique et analysées au regard des critères techniques d'évaluation. Sur la base de cette analyse, les configurations de réseau ont été adaptées jusqu'à ce qu'une configuration finale de réseau répondant aux critères d'évaluation soit trouvée. La présentation en tableau de la configuration finale du réseau avec les sections de ligne aérienne, les sections avec feeder de renforcement et les sections avec double ligne aérienne est donnée au chapitre 10.2.1. Pour une vue d'ensemble, les sections électrifiées avec ligne aérienne pour le scénario A sont présentées à la figure 4-14.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

135

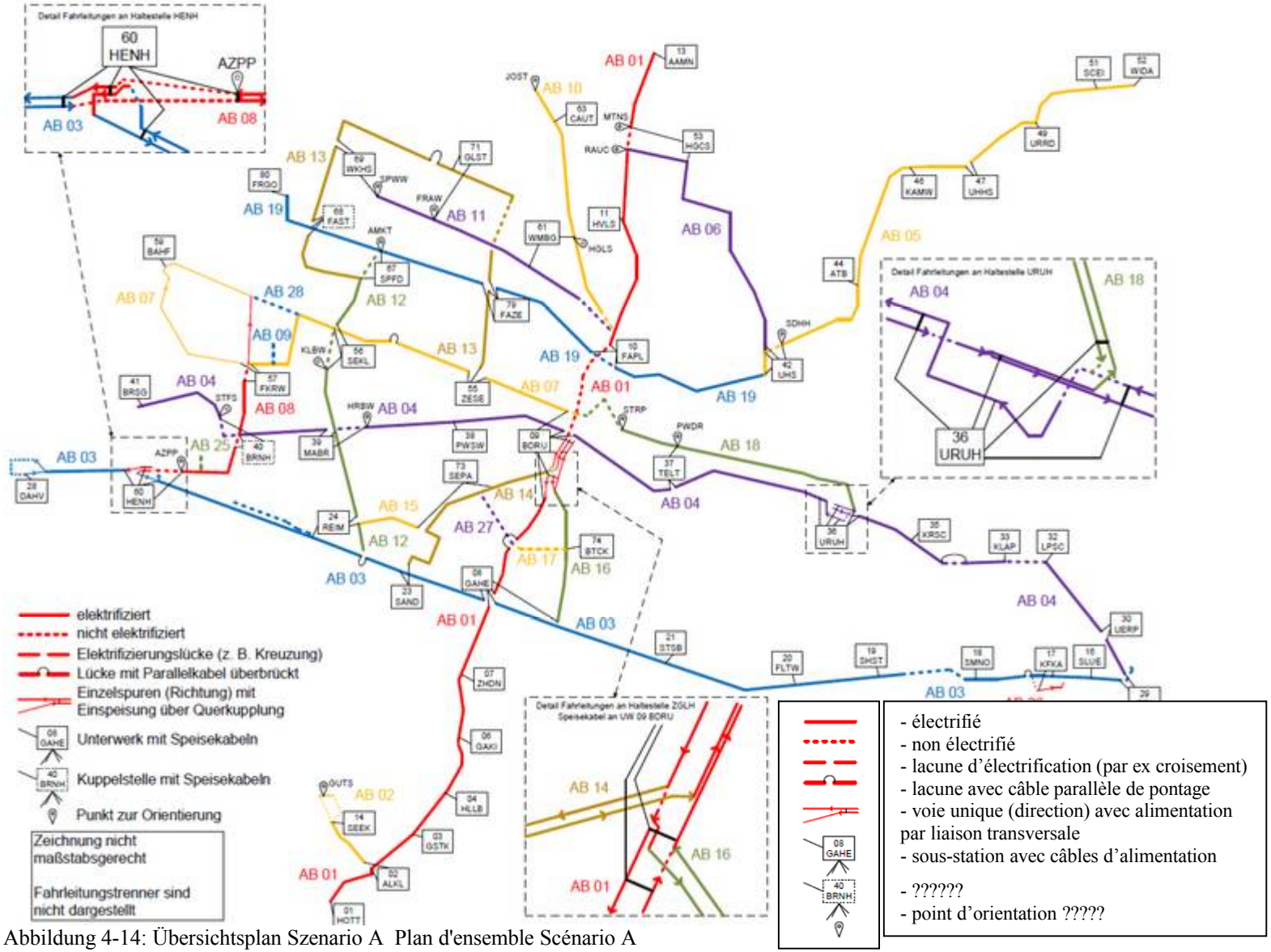
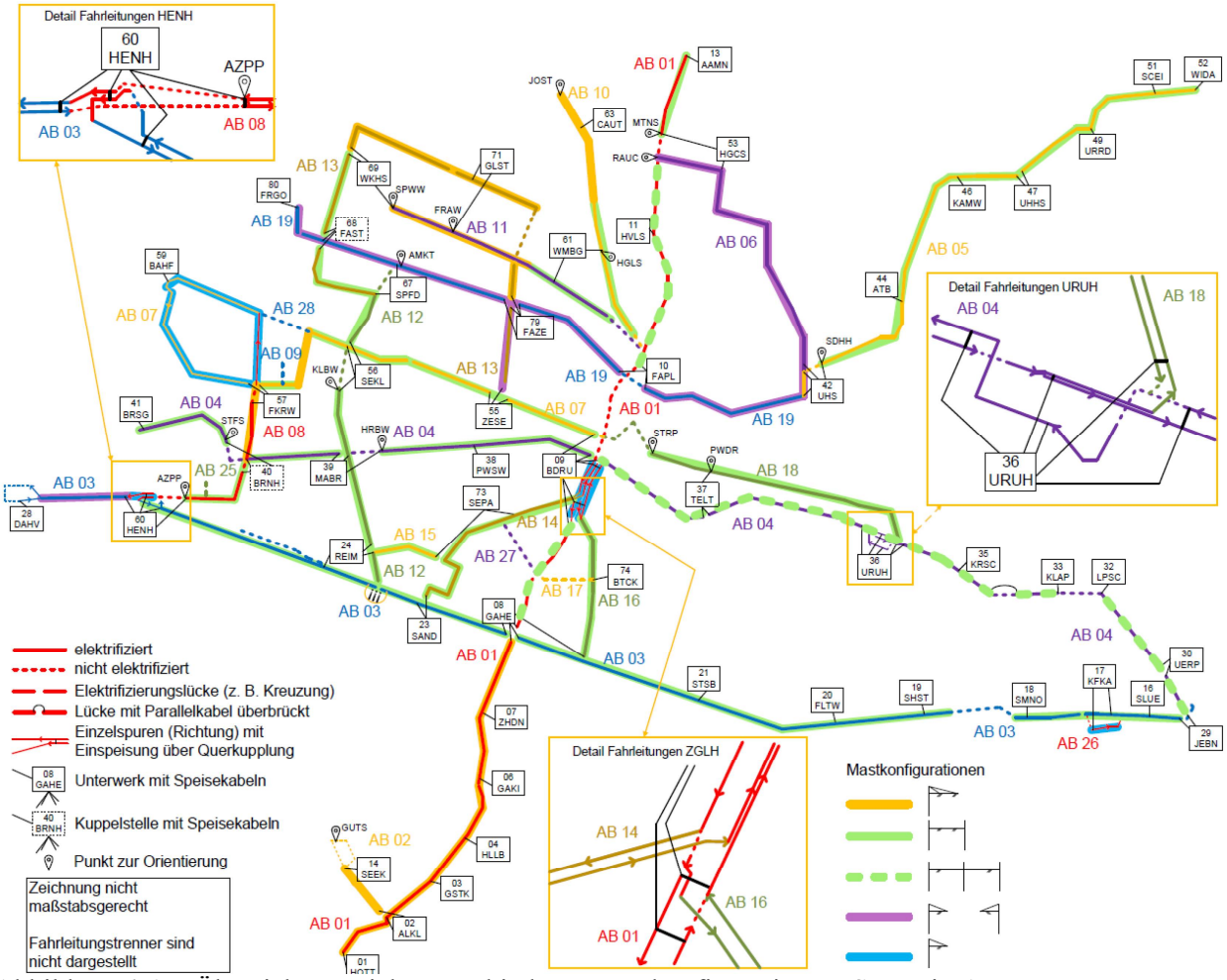


Abbildung 4-14: Übersichtsplan Szenario A Plan d'ensemble Scénario A

Zeichnung nicht massstabgerecht ; Fahrleitungstrenner nicht dargestllt. Dessin non à l'échelle ; sections de séparation ligne aérienne non représentés

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

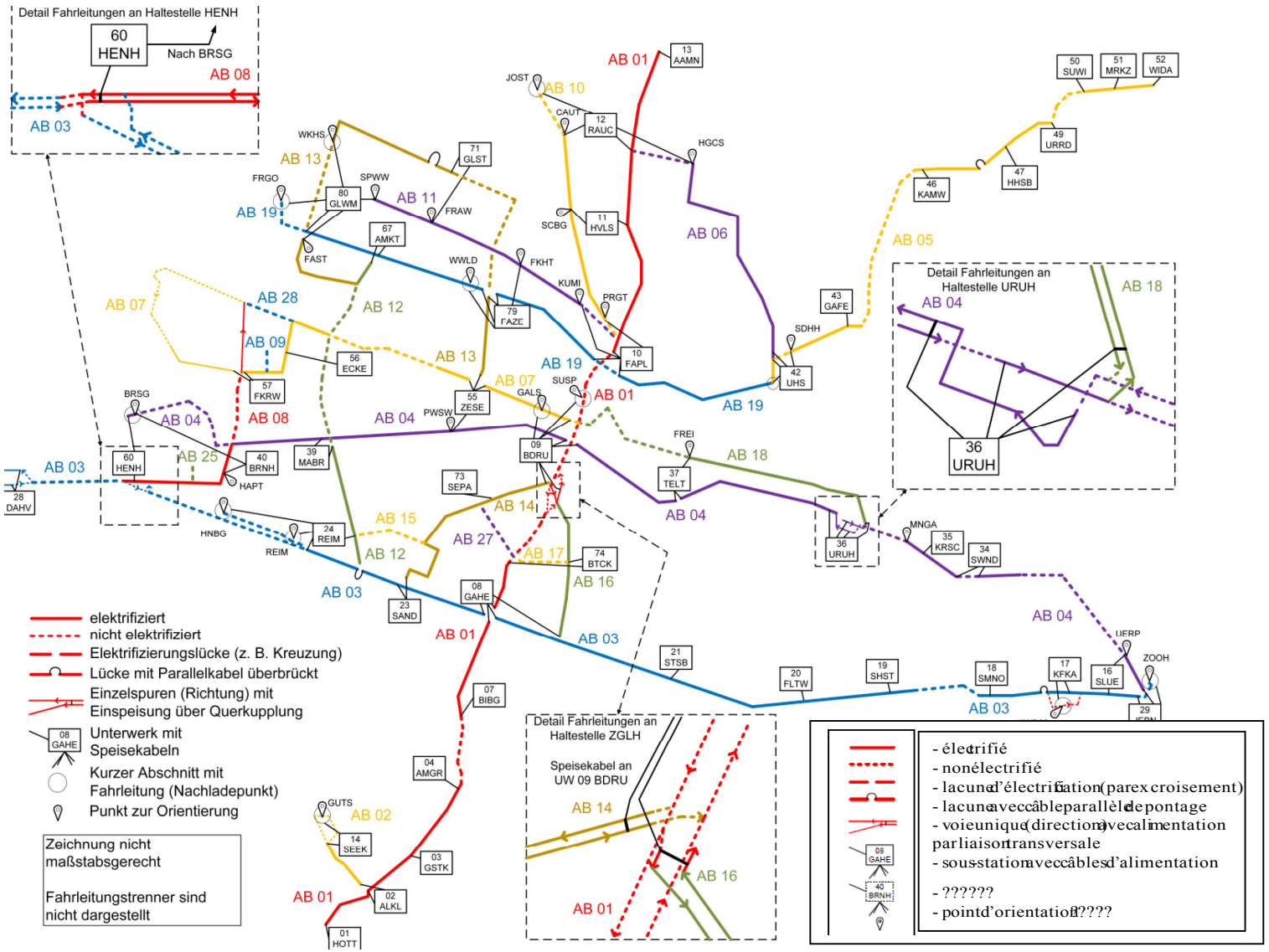
135	Für Szenario A werden abschnittsspezifisch verschiedene Mastkonfigurationen für die Fahrleitung vorgeschlagen (siehe Abbildung 4-15)	Pour le scénario A, différentes configurations de poteaux pour la ligne aérienne de contact sont proposées pour chaque section (voir figure 4-15).	
136	 Abbildung 4-15: Übersicht Bereiche verschiedener Mastkonfigurationen, Szenario A Figure 4-15 : Vue d'ensemble des zones avec différentes configurations de poteaux, scénario A		

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

136	In Tabelle 10-8 in Kapitel 10.2.1 ist die mögliche Lage der Unterwerke, die Positionierung der Speise- bzw. Rückleiterkabelanschlüsse und die Länge der Kabel zusammengetragen. In Tabelle 10-9 die vorgesehene Anzahl und die Nennwerte der Gleichrichtereinheit unter-werksspezifisch dargestellt.	Le tableau 10-8 du chapitre 10.2.1 indique l'emplacement possible des sous-stations, le positionnement des connexions des câbles d'alimentation et de retour et la longueur des câbles. Le tableau 10-9 indique le nombre prévu et les valeurs nominales de l'unité de redressement pour chaque sous-station. A	
137	**4.3.3 Szenario B - Gesamtnetz mit reduzierter Elektrifizierung** Die Länge des untersuchten Streckennetzes beträgt ca. 125 km (davon 110 km in Doppelrichtung und 15 km in Einzelrichtung), woraus sich ein betriebliches Netz von 235 km ergibt. Das Szenario sieht vor, 72,05 Streckenkilometer doppelspurig und 3,5 Streckenkilometer einspurig mit Fahrleitung zu versehen. Somit werden insgesamt 147,6 km des betrieblichen Netzes elektrifiziert, was einem Fahrleistungsanteil von 63 % entspricht. Die tabellarische Darstellung einer finalen Netzkonfiguration mit den Oberleitungsbereichen, der Bereiche mit Verstärkungsleitungen und den Bereichen mit doppelter Fahrdrahtausführung erfolgt in Kapitel 10.2.2. Zur Übersicht sind die elektrifizierten Abschnitte mit Oberleitung für das Szenario B in Abbildung 4-16 dargestellt.	4.3.3 Scénario B - Réseau total avec électrification réduite La longueur du réseau des lignes étudiées est d'environ 125 km (dont 110 km à double sens et 15 km à sens unique), ce qui donne un réseau exploité de 235 km. Le scénario prévoit 72,05 km à double voie et 3,5 km à voie simple voie avec ligne aérienne. Ainsi, un total de 147,6 km du réseau exploité sera électrifié, ce qui correspond à une part kilométrique de 63 %. La présentation en tableau d'une configuration finale du réseau avec les zones avec ligne aérienne, les zones avec des feeders de renforcement et les zones avec double ligne aérienne est donnée au chapitre 10.2.2. Pour une vue d'ensemble, les sections électrifiées avec ligne aérienne pour le scénario B sont présentées à la figure 4-16.	Scénario B réseau total avec moins de lignes aériennes

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

138



Zeichnung nicht massstabgerecht ; Fahrleitungstrenner nicht dargestllt. Dessin non à l'échelle ; sections de séparation ligne aérienne non représentés

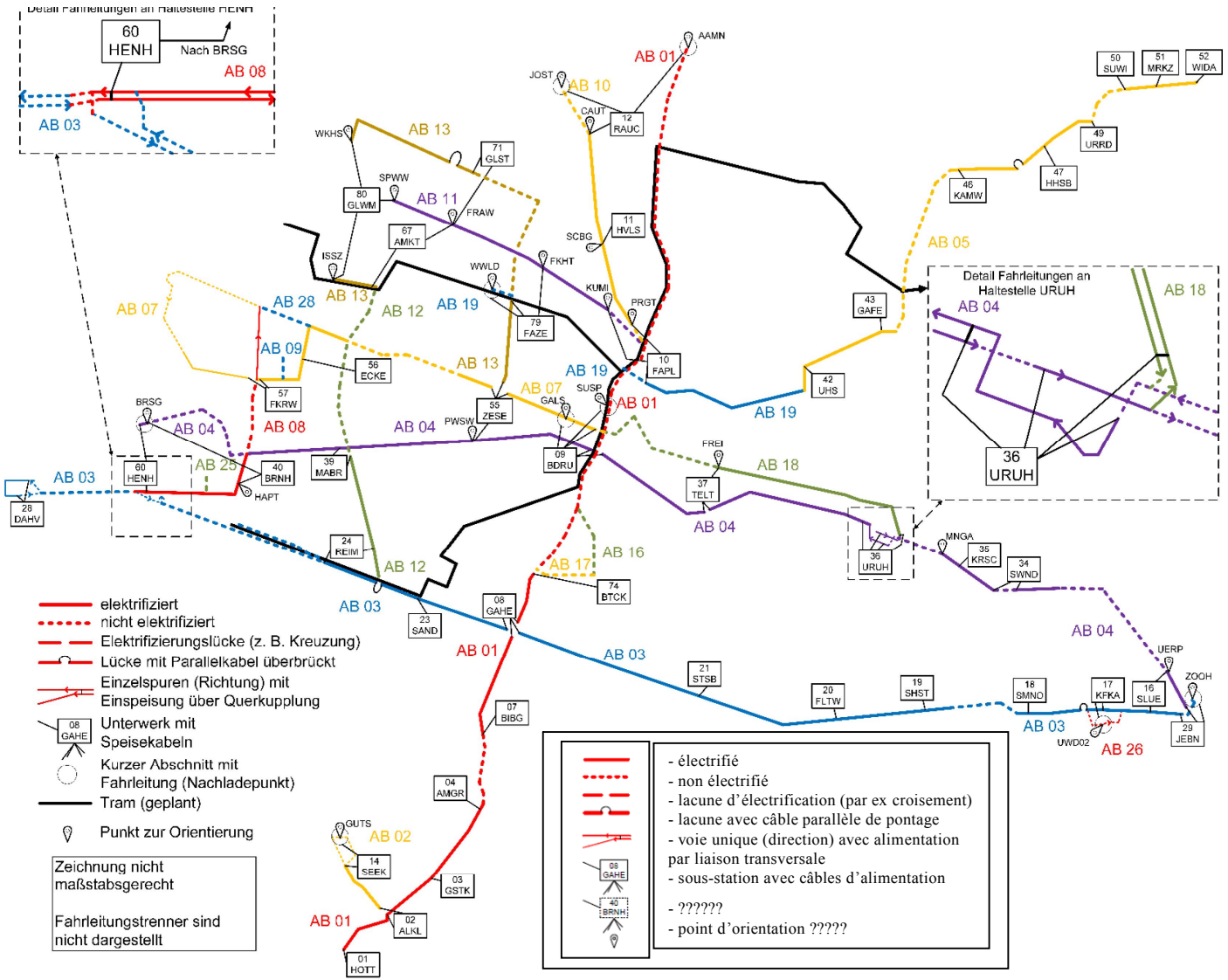
Abbildung 4-16: Übersichtsplan Szenario B Figure 4-16 : Plan d'ensemble Scénario B

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

140	**4.3.4 Szenario C - Betrieblich reduziertes Netz mit reduzierter Elektrifizierung** Die Länge des untersuchten Streckennetzes beträgt ca. 103,5 km (davon 96,5 km in Doppelrichtung und 7 km in Einzelrichtung), woraus sich ein betriebliches Netz von 200 km ergibt. Das Szenario sieht vor, 52,7 Streckenkilometer doppelspurig und 3,5 Streckenkilometer einspurig mit Fahrleitung zu versehen. Somit werden insgesamt 108,9 km des betrieblichen Netzes elektrifiziert, was einem Fahrleistungsanteil von 54 % entspricht. Die tabellarische Darstellung einer finalen Netzkonfiguration mit den Oberleitungsbereichen, der Bereiche mit Verstärkungsleitungen und den Bereichen mit doppelter Fahrdrahtausführung erfolgt in Kapitel 10.2.3. Zur Übersicht sind die elektrifizierten Abschnitte mit Oberleitung für das Szenario C in Abbildung 4-18 dargestellt.	4.3.4 Scénario C - Réseau réduit sur le plan de l'exploitation avec une électrification réduite La longueur du réseau étudié est d'environ 103,5 km (dont 96,5 km à double sens et 7 km à sens unique), ce qui donne un réseau exploité de 200 km. Le scénario prévoit 52,7 km à double voie et 3,5 km à voie unique avec ligne aérienne. Ainsi, un total de 108,9 km du réseau en exploitation sera électrifié, ce qui correspond à une part kilométrique de 54 %. La présentation en tableau de la configuration finale du réseau avec les zones avec ligne aérienne, les zones avec des feeders de renforcement et les zones avec double ligne aérienne est donnée au chapitre 10.2.3. Pour une vue d'ensemble, les sections électrifiées avec ligne aérienne pour le scénario C sont présentées à la figure 4-18.	Scénario C r : éseau réduit, tenant compte des futures lignes de tram

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

141



Zeichnung nicht massstabgerecht ; Fahrleitungstrenner nicht dargestllt. Dessin non à l'échelle ; sections de séparation ligne aérienne non représentés

Abbildung 4-18: Übersichtsplan Szenario C Figure 4-18 : Plan d'ensemble Scénario C

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

152	**4.4.6 Batteriebezogene Ergebnisse** Für die Auslegung der Batteriespeicher wurden die Ladezustände der Fahrzeugbatterien ausgewertet und daraus die SoC-Varianz der repräsentativen Fahrzeuge ermittelt. Pro Szenario und Fahrzeugtyp wurde der schlechteste Wert, also die tiefste Entladung bzw. breiteste Varianz herangezogen (Worst Case-Auslegung).	4.4.6 Résultats relatifs aux batteries Pour la conception du stockage sur batterie, les états de charge des batteries des véhicules ont été évalués et l'écart de l'état de charge des véhicules représentatifs en a été déterminée. Pour chaque scénario et type de véhicule, la valeur la plus défavorable, c'est-à-dire la décharge la plus profonde ou l'écart le plus important, a été utilisée (conception du cas le plus défavorable).	

152 Tabelle 4-9: SoC-Varianz der einzelnen Szenarien Tableau 4-9 : Ecart de charge des batteries dans les différents scénarios

SoC-Range **Etat de charge**	**Szenario A** **hoher Elektrifizierungsgrad** **Scénario A pourcentage élevé d'électrification**	**Szenario B** **Teilelektrifizierung** **Scénario B** **Elelectrification partielle**	**Szenario C** **reduziertes Netz geringer Elektrifizierungsgrad + Tram** **Scénario réseau réduit, faible niveau d'électrification + Tram**
Gelenk-Hobus Trolleybus articulé	90,0 % bis 78,0 % (Fzg. 76, Linie X34)	90,0 % bis 65,0 % (Fzg. 161, Linie M49)	90,0 % bis 65,0 % (Fzg. 161, Linie M49)
Doppelgelenk- Hobus Trolleybus biarticulé	90,0 % bis 67,6 % (Fzg. 107, Linie M32)	90,0 % bis 36,7 % (Fzg. 107, Linie M32) oder 90,0 % bis 59,2 % (Fzg. 89, Linie X36)	90,0 % bis 36,7 % (Fzg. 107, Linie M32) oder 90,0 % bis 73,0 % (Fzg. 113, Linie M32

bis = à
Fzh = voiture
Linie = ligne
oder : ou

152	Aus der Belastung der Batterien wurden die Lebensdauern linienspezifisch ermittelt. Da die Transportaufgaben der einzelnen Linien und die jeweilige Infrastruktur (Fahrdraht, Ladepunkte) unterschiedlich sind, werden die Batterien auf den Linien unterschiedlich belastet. Da nicht in allen Szenarien dieselben Buslinien fahren, ist eine Zuordnung zu den Szenarien in der Tabelle vermerkt	À partir de la charge des batteries, les durées de vie ont été déterminées sur une base spécifique à la ligne. Comme les missions de transport des différentes lignes et l'infrastructure correspondante (fil de contact, points de charge) sont différentes, les batteries sont chargées différemment sur les lignes. Comme les mêmes lignes de bus ne circulent pas dans tous les scénarios, une affectation aux scénarios est notée dans le tableau.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

152

Tabelle 4-10: prognostizierte Lebensdauer der verwendeten Batterien pro Linie
Tableau 4-10 : Durée de vie prévue des batteries utilisées selon les lignes

Linie Ligne	Variante Variante	Temperatur (°C) Température (°C	Lebensdauer (Tage) Durée de vie (en jours)	Lebensdauer (Jahre) Durée de vie (en années)
L130	A, B, C	15	2708	7,41
L134	A, B, C	15	2617	7,16
L136	A, B	15	2257	6,18
L137	A, B	15	1536	4,21
L236	A, B	15	2819	7,72
L237	A, B, C	15	2841	7,78
M32_1	A, B, C	15	2149	5,88
M32_2	A, B, C	15	2024	5,54
M37	A, B	15	1985	5,43
M45	A, B, C	15	1603	4,39
M49	A, B, C	15	2528	6,92
N34	A, B	15	5201	14,24
N34	C	15	3134	8,58
X33	A, B, C	15	2504	6,86
X34	A, B, C	15	3681	10,08
X36	A, B	15	2108	5,77
X49	A, B, C	15	3886	10,64

Il parait surprenant que les batteries des bus du scénario A aient les même durées de vie que celle des bus du scénario B alors qu'elles sont moins sollicitées puisque les bus du scénario A circulent plus souvent sous ligne aérienne

153

Da erwartet wird, dass die Busse tageweise auf verschiedenen Linien eingesetzt werden, wird die Lebensdauer der Batterie für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Schnitt mit ca. 6 Jahren angenommen. Das Lebensende der Batterie wird für die zugrunde gelegten Zyklen bei dem Kriterium der Erreichung von 80% der initialen Batteriekapazität erreicht.

Comme il est prévu que les bus soient utilisés quotidiennement sur différents itinéraires, la durée de vie de la batterie est supposée être d'environ 6 ans en moyenne pour l'analyse de l'efficacité économique. La fin de vie de la batterie est atteinte pour les cycles retenus selon le critère d'atteinte de 80% de la capacité initiale de la batterie.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

153	**4.4.7 Energiebedarf** Für die Berechnung des Energiebedarfs ist zu berücksichtigen, dass in den vorliegenden Rechnungen der Fahrplan eines Werktages als Basis herangezogen wird. In der Praxis werden von diesem Fahrplan abweichende Wochenend- und Feiertagsfahrpläne auftreten, die weniger Fahrten pro Tag aufweisen und somit einen geringeren Energiebedarf verursachen. Die Energieberechnung basierend auf 365 Werktagen für das Jahr stellt somit eine Hochrechnung dar. Der spezifische Energiebedarf wird in Wh/tkm (Wattstunden pro Tonnenkilometer) angegeben. Mit der Einheit Wh/tkm wird die verbrauchte Energie durch die umgesetzte Transportarbeit ins Verhältnis gesetzt. Je höher dieser Wert ist, desto mehr Energie war vonnöten, um eine bestimmte Transportarbeit zu erbringen. Bei vergleichbaren Transportaufgaben deutet ein höherer Energiewert auf eine ineffizientere Erbringung dieser Arbeit hin. Auch die spezifischen Energiebedarfe innerhalb von Fahrzeugen derselben Linie unterscheiden sich, da nicht jeder Umlauf denselben Fahrweg und dieselbe Pausenzeit an den Endstationen hat. Werden im Stillstand Energien durch die Hilfsbetriebe benötigt, so hat dieser Verbrauch einen Einfluss auf den spezifischen Energiebedarf, da zur selben Zeit keine Strecke zurückgelegt wurde. Wenngleich die Traktionsmotoren im Gegensatz zu den Hilfsbetrieben (Licht, Klimatisierung, Steuerung) große Leistungen abfordern, besitzen beide Verbrauchergruppen im Nahverkehr vergleichbare Energiebedarfe. Dies liegt daran, dass die Hilfsbetriebe meist durchgehend betrieben werden, während die Traktionsmotoren hohe Leistungen nur zeitweise beziehen.	4.4.7 Demande en énergie Pour le calcul de la demande énergétique, il faut tenir compte du fait que l'horaire de jour de semaine sert de base aux présents calculs. Dans la pratique, il y aura des horaires de week-end et de jours fériés qui diffèrent de cet horaire, qui comportent moins de trajets par jour et entraînent donc une demande d'énergie plus faible. Le calcul de l'énergie sur la base de 365 jours ouvrables par an est donc une estimation. La demande énergétique spécifique est exprimée en Wh/tkm (wattheures par tonne-kilomètre). Avec l'unité Wh/tkm, l'énergie consommée est liée au service de transport effectué. Plus cette valeur est élevée, plus l'énergie nécessaire pour effectuer un service de transport spécifique est importante. Pour des services de transport comparables, une valeur énergétique plus élevée indique une exécution plus inefficace de ce service. Les besoins énergétiques spécifiques des véhicules d'une même ligne diffèrent également, car tous les trajets aller-retour n'ont pas le même itinéraire et le même temps de pause aux stations terminus. Si de l'énergie est nécessaire pour les auxiliaires pendant l'arrêt, cette consommation a une influence sur la demande spécifique d'énergie, car aucun trajet n'a été parcouru pendant ce temps. Bien que les moteurs de traction, contrairement aux auxiliaires (éclairage, climatisation, commande), nécessitent de grandes quantités d'énergie, les deux groupes de consommateurs ont des besoins énergétiques comparables dans le transport local. Cela est dû au fait que les auxiliaires sont généralement exploités en continu, tandis que les moteurs de traction ne consomment de la puissance élevée que par intermittence.	A noter qu'habituellement, on compte que le service sur une année et égal à 270 à 300 fois le service d'une journée de semaine pour tenire compte des week-end, jours fériés, vacances scolaires (tout cela dépend de la ville)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

154	Der Hilfsbetriebeleistungsbedarf der Fahrzeuge ist von verschiedenen Parametern (z.B. der Fahrzeuginnentemperatur und der Umgebungstemperatur) abhängig und variiert über den Tag. Klimatisierung bzw. Heizung arbeiten vorwiegend mit höheren Leistungen in den besonders warmen bzw. kalten Monaten. Da dieser Leistungsbedarf im Rahmen der technischen Machbarkeit nicht detailliert modelliert und simuliert werden kann, wird für die Energieberechnung auf Basis der Tagesfahrpläne mit den modellierten spezifischen Beladungszuständen der elektrische Hilfsbetriebeleistungsbedarf der Fahrzeuge in Abhängigkeit der installierten Leistung variiert. Als Werte wurden 33% bzw. 75% der installierten Hilfsbetriebeleistung als mittlerer Leistungswert gewählt und der entsprechende Tagesenergiebedarf berechnet. In fünf Monaten des repräsentativen Jahres wird ein Mittelwert der Hilfsbetriebe von 75 % des Spitzenwertes angenommen, während in den restlichen sieben Monaten im Mittel ein Wert von 33 % des Spitzenwertes bezogen wird. Für die eingesetzten Fahrzeugtypen „Gelenktrolleybus“ und „Doppelgelenktrolleybus“ sind die daraus resultierenden Hilfsbetriebeleistungen in folgender Tabelle aufgelistet:	La demande d'énergie des auxiliaires des véhicules dépend de divers paramètres (par exemple, la température intérieure du véhicule et la température ambiante) et varie tout au long de la journée. La climatisation et le chauffage fonctionnent principalement à des niveaux de puissance plus élevés pendant les mois particulièrement chauds ou froids. Comme cette demande de puissance ne peut pas être modélisée et simulée en détail dans le cadre de la faisabilité technique, la demande de puissance électrique auxiliaire des véhicules varie en fonction de la puissance installée pour le calcul de l'énergie sur la base des horaires quotidiens avec les états de charge spécifiques modélisés. Des valeurs de 33% et 75% de la puissance installé des auxiliaires ont été choisies comme valeur de puissance moyenne et la demande énergétique quotidienne correspondante a été calculée. Pendant cinq mois de l'année représentative, on suppose une valeur moyenne de la puissance des auxiliaires de 75% de la valeur de pointe, tandis que pendant les sept mois restants, on retient une valeur moyenne de 33% de la valeur de pointe. Pour les types de véhicules "trolleybus articulé" et "trolleybus double articulé" utilisés, les puissances pour les auxiliaires qui en résultent sont énumérés dans le tableau suivant :	
154	Tabelle 4-11: Hilfsbetriebeleistungen Tableau 4-11 : Puissances des auxiliaires		

Relativer Leistungsbedarf der Hilfs-betriebe Pourcentage de demande de puissance des auxiliaires	**Gelenktrolleybus (GTB)** **Trolleybus articulé (GTB)**	**Doppelgelenktrolleybus (DGTB)** **Trolleybus double articulation (DGTB)**
100 %	45 kW	63 kW
75 %	33,8 kW	47,3 kW
33 %	15 kW	21 kW

154	Aus den Tagesgang-Simulationsläufen wurden die spezifischen Energiebedarfe des gesamten Netzes des jeweiligen Szenarios berechnet. Für die Ermittlung des Energiebedarfs pro Jahr werden 7 Monate mit einem geringen Energiebedarf der Hilfsbetriebe und 5 Monate mit einem hohen Energiebedarf der Hilfsbetriebe zu Grunde gelegt. Die Werte sind in Tabelle 4-12 dargestellt und werden später im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung weiterverwendet.	Les besoins énergétiques spécifiques de l'ensemble du réseau de chaque scénario ont été calculés à partir des simulations pour un jour. Pour la détermination de la demande énergétique annuelle, on prend comme base 7 mois avec une faible demande énergétique des auxiliaires et 5 mois avec une forte demande énergétique des auxiliaires. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 4-12 et seront utilisées ultérieurement dans l'analyse de l'efficacité économique.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

154

Tabelle 4-12: Energiebedarfe der Szenarien Tableau 4-12 : Besoins énergétiques des scénarios

Parameter **Paramètre**	**Szenario A** **Gesamtnetz / hoher Elektrifizierungsgrad** **Scénario A Réseau complet / haut niveau d'électrification**	**Szenario B** **Gesamtnetz / reduzierte Elektrifizierung** **Scénario B Réseau complet / électrification réduite**	**Szenario C** **reduziertes Netz** **Scénario C Réseau réduit**
Laufleistung Kilométrage	41.338,9 km	41.338,9 km	30.937,7 km
Tagessumme bei 33 % - Hilfsbetriebe Somme journalière à 33% pour les auxiliaires	84,1 MWh	84,1 MWh	53,8 MWh
Energiebedarf bei 75 % - Hilfsbetrie-beleistung (pro Tag) Demande énergétique à 75% pour les auxiliares (par jour)	129,9 MWh	129,9 MWh	89,3 MWh
Energiebedarf pro Jahr Demande énergétique par an	**37,7 GWh**	**37,7 GWh**	**25,0 GWh**
Spezifischer Energiebedarf Demande énergétique spécifique	2,5 kWh / km	2,5 kWh / km	2,22 kWh / km

Ce tableau pose question :

Est-ce que ce sont seulement les consommations des auxiliaires ou est-ce que ce sont les consommations totales comme semble l'indique le titre?

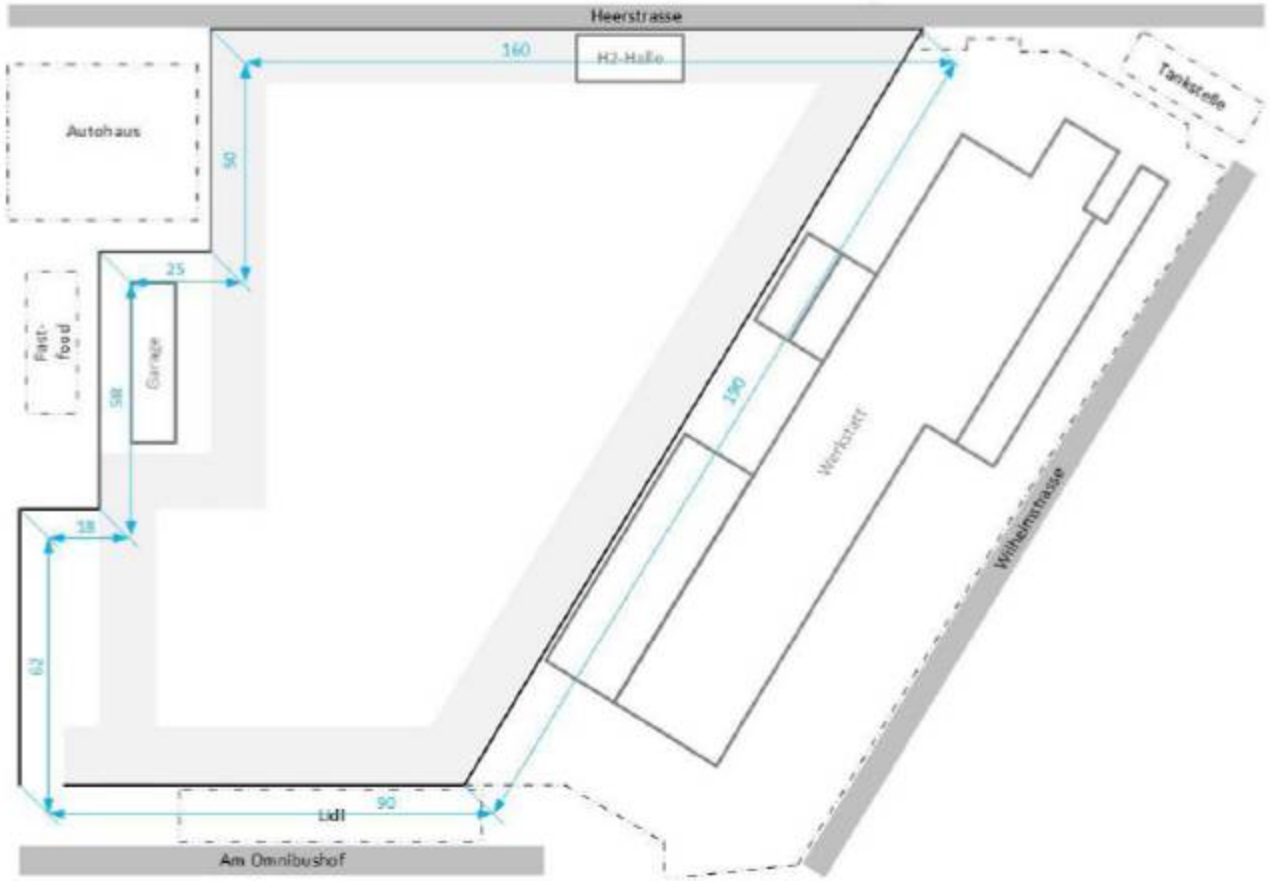
Si ce sont les consommations totales, elles paraissent faibles si l'on se réfère aux chiffres ci-dessous :
About the trolleybus consumption :
- trolley 18m bi-mode of Nancy (with high gradients) in the eighties : 3,93 kWh/km (3,41 kWh/km without heating)
- guided trolleybus Bombardier 24 m of Nancy : 4,17 kWh/km
- Van Hool AG300T 18m in Milano : 2,64 kWh/km empty , 4,02 kWh/km full loaded

De plus, aucune différence de consommation entre les Scénarios A et B alors que l'utilisation plus importante des batteries dans le scénario B devrait conduire à une consommation plus importante (rendement du cycle charge décharge des batteries)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

155	Auf Basis der Laufleistung der Fahrzeuge wurde der spezifische Energiebedarf berechnet. Durch die verschiedenen Anzahlen an Gelenk- und Doppelgelenkbussen liegt dieser Wert zwischen den aus der Literatur bekannten Werten und kann somit als plausibel erachtet werden. Bei den Werten des Gesamtenergiebedarfs fallen die annähernd gleichen Energiewerte (Abweichungen in nicht dargestellten Nachkommastellen) für das Szenario A und B auf. Dies scheint auf den ersten Blick widersprüchlich, da es sich um elektrisch verschiedene Netzkonfigurationen handelt und erwartet worden wäre, dass die Szenarien einen unterschiedlichen Energiebedarf haben. Grundsätzlich ist es so, dass die umzusetzende Energie für die Transportaufgabe (diese ist bei beiden Szenarien gleich) aus den Unterwerken bereitgestellt werden muss. Energiespeicher sind dabei als bilanzierende elektrische Netzelemente zu betrachten. In den Simulationen werden Energiespeicher derart modelliert, dass sie am Ende der Simulation den gleichen Ladezustand haben wie zu Beginn der Simulation. Zusätzlich wird durch die Kabelverbindungen in dem Fahrleitungsnetz des Sze-narios B ein vergleichbarer Grad der elektrischen Vermaschung wie bei Szenario A hergestellt. So kann die rückgespeiste Leistung der Fahrzeuge bei beiden Szenarien in einem hohen Anteil für die Nachladung der Batterie oder leistungsaufnehmende Fahrzeuge im Netz genutzt werden. Dadurch ergeben sich die nahezu identischen Werte des Jahresener-giebedarfs für beide Szenarien.	La demande énergétique spécifique a été calculée sur la base du kilométrage des véhicules. En raison du nombre différent d'autobus articulés et doublement articulés, cette valeur se situe entre les valeurs connues dans la littérature et peut donc être considérée comme plausible. En ce qui concerne les valeurs de la demande énergétique totale, les valeurs énergétiques presque identiques (écarts en décimales non indiqués) pour les scénarios A et B sont frappantes. À première vue, cela semble contradictoire, car il s'agit de configurations de réseau électriquement différentes et on aurait pu s'attendre à ce que les scénarios aient des besoins énergétiques différents. Fondamentalement, l'énergie à convertir pour la tâche de transport (c'est la même chose dans les deux scénarios) doit être fournie par les sous-stations. Les systèmes de stockage d'énergie doivent être considérés comme des éléments d'équilibrage du réseau électrique. Dans les simulations, les unités de stockage d'énergie sont modélisées de manière à ce qu'elles aient le même état de charge à la fin de la simulation qu'au début de celle-ci. En outre, les connexions de câbles dans le réseau de lignes aériennes du scénario B créent un degré d'interconnexion électrique comparable à celui du scénario A. De cette manière, l'énergie régénérée peut être réinjectée dans le réseau. Ainsi, une grande partie de l'énergie renvoyée par les véhicules peut être utilisée dans les deux scénarios pour recharger la batterie ou pour les véhicules consommateurs d'énergie du réseau. Il en résulte des valeurs presque identiques pour la demande énergétique annuelle pour les deux scénarios.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

157	Die dargestellte umlaufende Fahrspur (grau) wurde mit 15 m Breite angenommen, so dass die sich ergebenden Kurvenradien der in Abbildung 4-28 dargestellten Schleppkurve genügen.	La voie de circulation (en gris) représentée a été supposée avoir une largeur de 15 m, de sorte que cela suffit compte tenu des rayons de giration donnés à la figure 4-28.	
158	 Abbildung 4-27: Betriebshof Spandau, vereinfachte Darstellung Figure 4-27 : Dépôt de Spandau, représentation simplifiée		

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

159

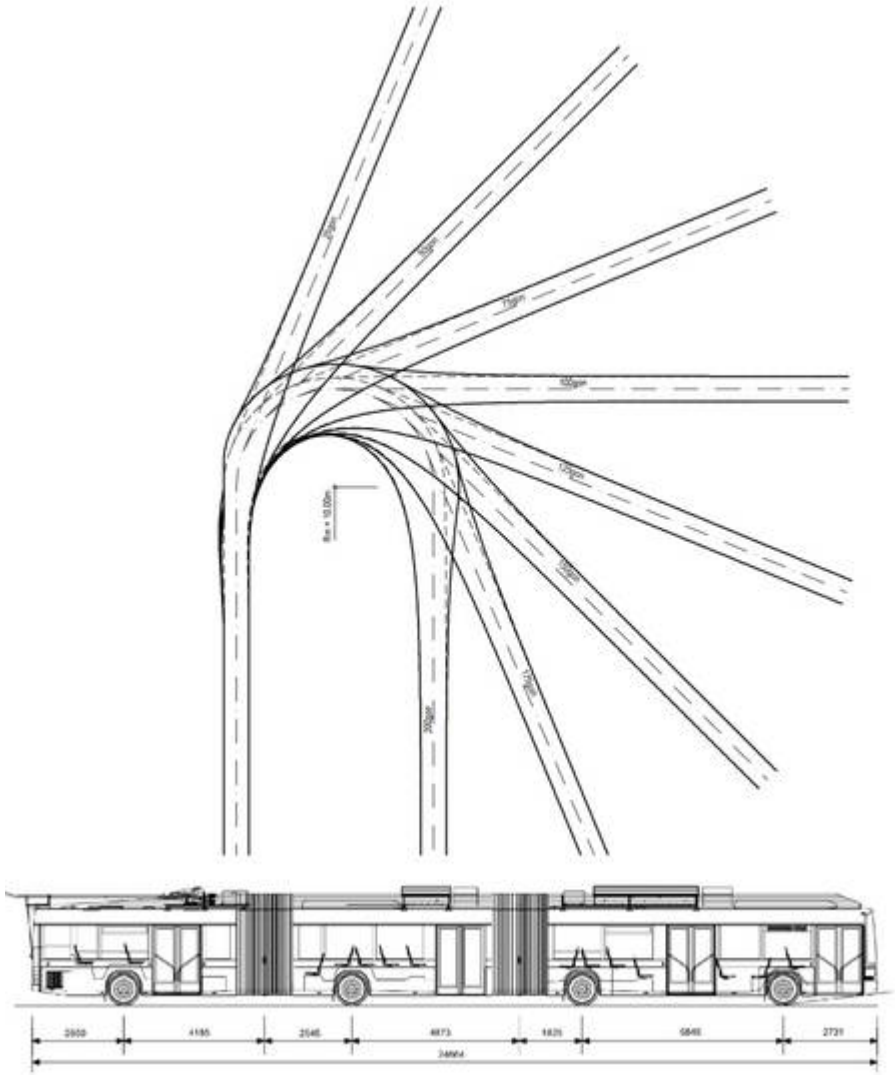


Abbildung 4-28: Schleppkurve Doppelgelenkbus (Länge: 24,70m) im Maßstab 1:500, nach [101]
Figure 4-28 : Courbes de giration d'un bus à double articulation (longueur : 24,70 m) à l'échelle 1:500, d'après [101].

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

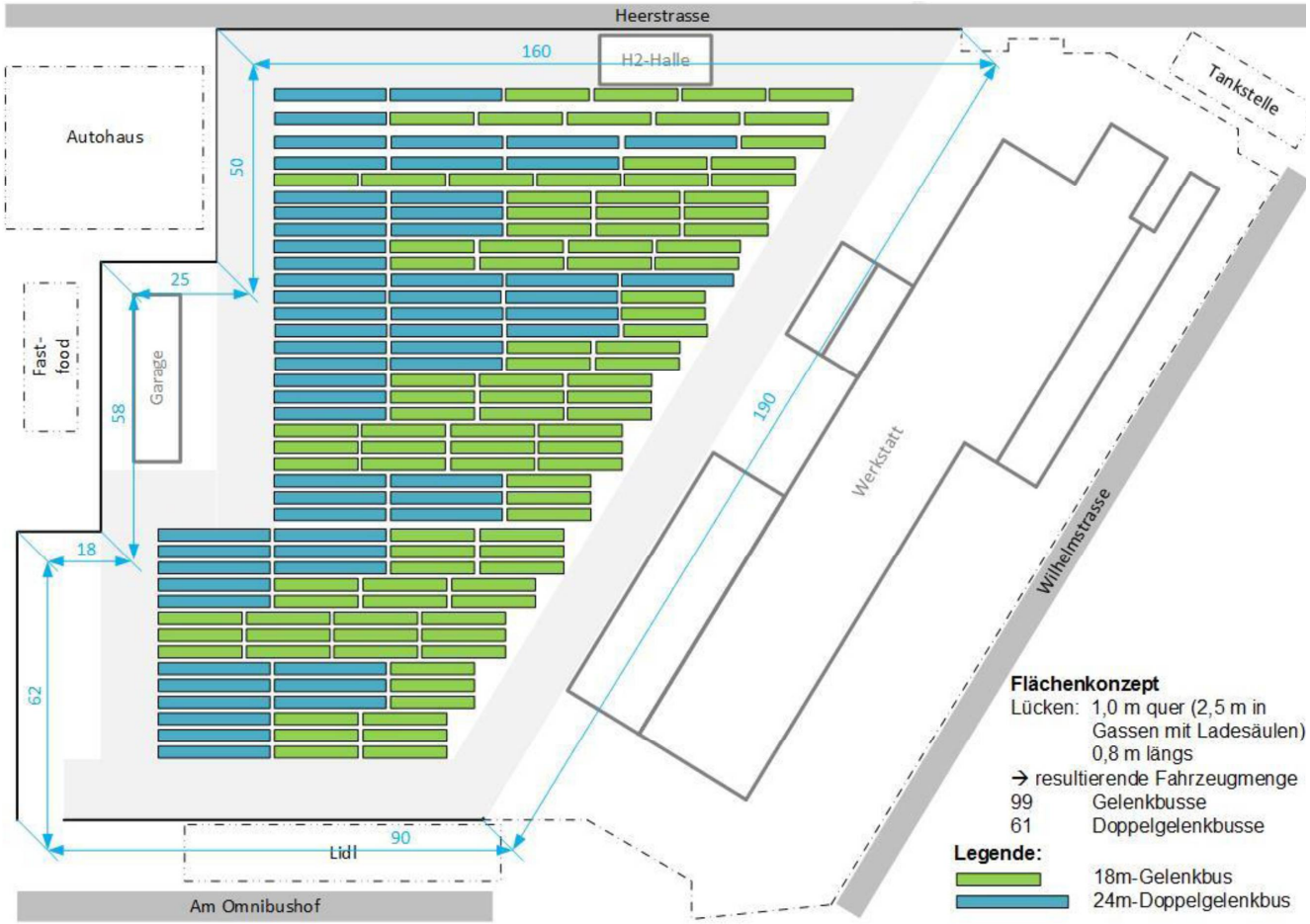
160	· Doppelgelenkbusse sind weniger manövrierfähig und sind in Parallelabstellung schlechter kombinierbar (ggf. am Reihenende verschenkter Platz, wenn kein gan-zer Bus mehr auf die Restlänge passt). Die BVG empfiehlt auf der Abstellfläche folgende Mindestabstände [100]: · quer 1,0m, · längs 0,8m. Das ist notwendig, da perspektivisch auch Fahrzeug-Innenraum-Reinigungsarbeiten auf der Abstellfläche durchgeführt werden sollen und dafür zusätzliche Fläche für den Zugang des Reinigungspersonals vorgehalten werden muss. Ein erweiterter Abstand ergibt sich durch die Aufstellung von Elektranten zur Nachladung über Kabel und Stecker. Hersteller von Ladestationen liefern schnellladefähige DC-Ladesäulen mit CSS-2.0-Steckern. Typische Abmessungen sind ca. 1.900 mm x 850 mm x 450 mm (HxBxT, u.a. [102]). Einschließlich der bereitzuhaltenden Durchgangsabstände ergeben sich freizuhaltende seitliche Abstände von etwa 2,50 m zwischen den abgestellten Bussen bei mittig angeordneten, zweiseitig nutzbaren Ladesäulen (jeder zweite Durchgang).	- Les autobus à double articulation sont moins maniables et plus difficiles à combiner en stationnement parallèle (possibilité de perte d'espace en fin de rangée si aucun autobus entier ne tient sur la longueur restante). La BVG (société de transport de Berlin) recommande les distances minimales suivantes sur l'aire de stationnement [100] : - transversalement 1,.0m, - dans le sens de la longueur, 0,8 m. Cette mesure est nécessaire car, à l'avenir, les travaux de nettoyage de l'intérieur des véhicules seront également effectués sur l'aire de stationnement et un espace supplémentaire doit être prévu pour permettre l'accès du personnel de nettoyage. Une distance plus importante résulte de l'installation de bornes pour la recharge via des câbles et des prises. Les fabricants de stations de recharge fournissent des colonnes de recharge en courant continu à charge rapide avec des connecteurs CSS 2.0. Les dimensions typiques sont d'environ 1 900 mm x 850 mm x 450 mm (HxLxP, entre autres [102]). En tenant compte des dégagements à maintenir disponibles, les dégagements latéraux à maintenir entre les bus stationnés sont d'environ 2,50 m pour les points de charge disposés au centre et utilisables des deux côtés (un passage sur deux).....	Dimensions à prendre en compte pour les dépôts. A noter que la recharge des batteries avec une ligne aérienne ne demande pas d'espace latéral supplémentaire entre les véhicules

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

161	Die Batterieladung erfolgt in allen Simulations-Szenarien primär im Fahrbetrieb unter Oberleitung. Die für den Betriebshof vorgesehenen Ladeeinrichtungen dienen vor allem der Absicherung des Betriebes für nicht unter Fahrleitung aufladbare Batterien (siehe Kapitel 3.4.7.2). a) Simulations-Szenarien A und B Für die Simulations-Szenarien A und B ergibt sich nach Tabelle 6-2 ein Fahrzeugbedarf von 102 Gelenkbussen (18 m lang) und 67 Doppelgelenkbussen (24 m lang). Zusätzlich sind 10% Reservefahrzeuge je Fahrzeugtyp berücksichtigt. Entsprechend Tabelle 6-2 müssen für die Szenarien A und B 18 Nachladeeinrichtungen (11 für Einfachgelenk- und 7 für Doppelgelenkbusse) vorgehalten werden. Abbildung 4-29 zeigt, dass die momentan im Betriebshof Spandau zur Verfügung stehenden Abstellflächen nicht genügen, um den geplanten Fuhrpark der Szenarien A und B auf dem Betriebsgelände unterzubringen. Bei bestmöglicher Anordnung der Fahrzeuge in Parallelabstellung und unter Berücksichtigung oben erwähnter Abstände (einschließlich vergrößerter Gassen für die Ladestationen) können nur 99 Einfachgelenkbusse und 61 Doppelgelenkbusse beherbergt werden. Für die noch unterzubringenden · 14 Einfachgelenkbusse und · 13 Doppelgelenkbusse werden zusätzlich etwa 2.000 m² Fläche benötigt. Dies ist nur ein Teil der oben erwähnten rückholbaren Fläche, so dass die Vergrößerung der Abstellfläche und auch ein Zuwachs an Gebäudefläche möglich sind.	Dans tous les scénarios de simulation, la charge des batteries s'effectue principalement pendant la circulation sous une ligne aérienne. Les installations de charge prévues pour le dépôt servent principalement à sécuriser le fonctionnement des batteries qui ne peuvent pas être chargées sous ligne aérienne (voir chapitre 3.4.7.2). a) Scénarios de simulation A et B Pour les scénarios de simulation A et B, selon le tableau 6-2, on obtient un besoin en véhicules de 102 autobus articulés (18 m de long) et 67 autobus à double articulation (24 m de long). En outre, 10 % de véhicules de réserve par type de véhicule sont pris en compte. Selon le tableau 6-2, 18 installations de rechargement (11 pour les autobus à articulations simples et 7 pour les autobus à articulations doubles) doivent être prévues pour les scénarios A et B. La figure 4-29 montre que les aires de stationnement actuellement disponibles au dépôt de Spandau ne sont pas suffisantes pour accueillir le parc de véhicules prévu dans les scénarios A et B sur le site du dépôt. Avec la meilleure disposition possible des véhicules en stationnement parallèle et en tenant compte des distances mentionnées ci-dessus (y compris les allées élargies pour les stations de recharge), seuls 99 autobus à simple articulation et 61 autobus à double articulation peuvent être accueillis. Pour les véhicules encore à accueillir - 14 bus mono-articulés et - 13 bus à double articulation un espace supplémentaire de 2 000 m² sera nécessaire. Il ne s'agit que d'une partie de la surface récupérable susmentionnée, de sorte que l'augmentation de l'espace de stationnement et également l'augmentation de la surface de construction sont possibles.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

162



Conception de l'espace : Espaces 1,0 m transversal (2,5m dans les allées avec mats de charge, 0,8 m en longueur.
Abbildung 4-30: Parallelabstellung des restlichen Fuhrparks der Szenarien A und B auf dem angrenzenden Supermarktgelände (Abriss Gebäude)
Figure 4-30 : Stationnement en parallèle du parc de véhicules restant des scénarios A et B sur le site adjacent du supermarché (démolition du bâtiment).

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

162	b) Simulations-Szenarien C Für das Szenario C ist im Unterschied zu A und B lediglich die Beschaffung von 14 Doppelgelenkbussen, bei ebenfalls 102 zu beschaffenden Einfachgelenkbussen, vorgesehen. Zusätzlich sind 10% Reservefahrzeuge je Fahrzeugtyp zu berücksichtigen. Entsprechend Tabelle 6-2 müssen für Szenario C 13 Ladestationen (11 für Einfachgelenk- und 2 für Doppelgelenkbusse) im Betriebshof Spandau vorgehalten werden.	b) Simulations scénario C Pour le scénario C, contrairement aux scénarios A et B, seuls 14 autobus à double articulation doivent être achetés, et 102 autobus à articulation simple doivent également être achetés. En outre, 10 % de véhicules de réserve par type de véhicule sont à prendre en compte. Selon le tableau 6-2, 13 stations de recharge (11 pour les autobus articulés et 2 pour les autobus bi-articulés) doivent être prévues au dépôt de Spandau pour le scénario C.	
166	**4.5.6 Abschleppkonzept** Wie auch bei konventionellen Bussen besteht bei Hobussen das Risiko, dass von Zeit zu Zeit Fahrzeuge abzuschleppen sind, z.B. von der Strecke zum Betriebshof. Neben der Beschaffung von Abschlepptechnik kommt es vor allem darauf an, den Lieferanten der Busse auf einen effizienten Abschleppmodus zu verpflichten. Aufwendige Arbeiten auf der Straße, um einen liegengebliebenen Bus schlepptauglich zu machen, müssen vermieden werden.	4.5.6 Concept de remorquage Comme pour les autobus classiques, il existe un risque que les véhicules doivent être remorqués de temps en temps, par exemple de la rue au dépôt. Outre l'acquisition d'équipements de remorquage, le plus important est d'engager le fournisseur des bus dans un mode de remorquage efficace. Il faut éviter les travaux coûteux à faire dans la rue pour rendre un bus en panne apte au remorquage.	
173	Tabelle 6-2: Gesamtbusflotten der Szenarien A, B und C Tableau 6-2 : Parcs totaux de bus des scénarios A, B et C		

Busflotte **Parc de bus**	**Szenario A** **Scénario A**	**Szenario B** **Scénario B**	**Szenario C** reduziertes Netz **Scénario C** **Réseau réduit**
Flotte für Umlauf GB / DGB Parc en roulement Articulé/Biarticulés	102 / 67	102 / 67	102 / 14
Reserve GB / DGB Réserve Articulé/Biarticulés	11 / 7	11 / 7	11 / 2
Gesamtflotte **Parc total**	**187**	**187**	**129**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

174	Im Szenario C reduziert sich mit dem Entfall bestimmter Linien das betrachtete Liniennetz, welches mit Hobussen bedient wird, auf 200 km. Bei einer Optimierung von Fahrleitungslänge und erforderlicher Batteriekapazität analog zur Variante B ergibt sich für Szenario C eine Gesamtfahrleitungslänge von 109 km. Davon sind 3,5 km einspurig (2-drähtige Fahr-leitung) und 52,7 km zweispurig (4- und mehrdrähtige Fahrleitung) ausgeführt. In Tabelle 6-3 sind die Fahrleitungslängen, die Anzahl der Maste, Fundamente, Fahrleitungstrenner und Eindrahteinrichtungen für die untersuchten Szenarien zusammengestellt. Der durchschnittliche Mastabstand beträgt bei allen Szenarien 31,5 m. Fahrleitungsquerverbinder wurden alle 100 m mit jeweils 5x 120 mm² Cu berücksichtigt. Um den Netzcharakter der Fahrleitungsanlage zu erhalten, wurden zwischen einzelnen Oberleitungsabschnitten unterirdische Kabelverbindungen (120 bzw. 240 mm² Cu) vorgesehen.	Dans le scénario C, l'élimination de certaines lignes réduit le réseau de lignes considéré, desservi par des trolleybus IMC, à 200 km. Avec une optimisation de la longueur de la ligne arienne et de la capacité requise des batteries analogue à celle de la variante B, la longueur totale de la ligne aérienne pour le scénario C est de 109 km. Sur ce total, 3,5 km sont à voie simple (ligne aérienne à 2 fils) et 52,7 km sont à double voie (ligne aérienne à 4 et plusieurs fils). Le tableau 6-3 indique les longueurs de ligne aérienne, le nombre de poteaux, de fondations, de sectionneurs de caténaire et d'équipements de câblage pour les scénarios étudiés. L'espacement moyen des poteaux est de 31,5 m pour tous les scénarios. Les liaisons transversales de ligne aérienne ont été établies tous les 100 m avec 5x 120 mm² Cu chacune. Afin de maintenir le caractère de réseau du système de ligne aérienne, des connexions en câbles souterrains (120 ou 240 mm² Cu) ont été prévues entre les différentes sections de ligne aérienne.	

174

Tabelle 6-3: Fahrleitungslängen, Anzahl Maste und Fundamente

Tableau 6-3 : Longueurs de ligne aérienne, nombre de poteaux et de fondations

Parameter **Paramètre**	**Szenario A** **Scénario A**	**Szenario B** **Scénario B**	**Szenario C** **reduziertes Netz** **Scénario C** **Réseau réduit**
Liniennetzlänge Longueur de lignes	235 km	235 km	200 km
Einspurig (2-drähtig) A une voie (2 fils)	7,0 km	3,5 km	3,5 km
Zweispurig (4- und mehrdrähtig) A 2 voies (4 fils et plus)	95,0 km	72,05 km	52,7 km
Gesamtfahrleitungslänge (Einzel-km) **Longueur totale de lignes aériennes aériennes (à 1 voie)**	**197,0 km**	**147,6 km**	**108,9 km**
Anzahl Maste **Nombre de poteaux**	**6.270**	**4.700**	**3.480**
Anzahl Fundamente Nombre de fondations	**6.270**	**4.700**	**3.480**
Fahrleitungstrenner **Sectionneurs de ligne aérienne**	**111**	**65**	**55**
Eindrahteinrichtungen **Dispositifs d'emperchage (NDT les dièdres suspendus à la ligne aérienne)**	**121**	**97**	**84**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

175	**6.1.2.2 Energieversorgung** In Abhängigkeit der örtlichen Leistungsanforderungen wird die Fahrleitung von Gleichrichter-Unterwerken verschiedener Leistungsklassen gespeist. Basierend auf den Simulations-ergebnissen wurden verschiedene Unterwerkstypen mit Transformatoren von jeweils 500 kVA, 750 kVA, 1.000 kVA und 1.500 kVA festgelegt. Für die untersuchten Szenarien ist in Tabelle 6-4 die erforderliche Unterwerksanzahl mit den entsprechenden Gleichrichtern und Transformatoren dargestellt. Jedes Gleichrichter-Unterwerk ist an das Mittelspannungsnetz des örtlichen Energieversogers anzubinden. Die dafür notwendigen Komponenten und deren Kosten sind in der vorliegenden Untersuchung pauschal berücksichtigt, Abschnitt 6.2.2.	6.1.2.2 Fourniture de l'énergie En fonction des besoins locaux en électricité, la ligne aérienne de contact est alimentée par des sous-stations de redressement de différentes classes de puissance. Sur la base des résultats de la simulation, différents types de sous-stations avec des transformateurs de 500 kVA, 750 kVA, 1 000 kVA et 1 500 kVA chacune ont été déterminés. Le tableau 6-4 indique le nombre requis de sous-stations avec les redresseurs et transformateurs correspondants pour les scénarios étudiés. Chaque sous-station de redressement doit être connectée au réseau moyenne tension du fournisseur d'énergie local. Les composants nécessaires à cet effet et leurs coûts sont pris en compte de manière forfaitaire dans cette étude, section 6.2.2.	
175	Zur Ermittlung der für die Gleichrichterunterwerke erforderlichen Grundstücksflächen wurde bei allen Unterwerkstandorten von einer kompakten Containerbauweise der Anlagen ausgegangen. Pro Unterwerks- und zusätzlichem Schaltstellenstandort wurde eine Grundstücksfläche von 50 m² inklusive Zufahrt angesetzt. Die Unterwerksgesamtflächen der Szenarien sind in Tabelle 6-4 zusammengestellt. Die Einspeisung von den Gleichrichterunterwerken in die Fahrleitung erfolgt über Kabelanlagen (Leiterquerschnitt 400 mm² Cu) und Leistungsschalter. Die erforderlichen Einzelkabellängen und die Anzahl von Schaltern sind in Tabelle 6-4 aufgelistet. Zur Sicherstellung der erforderlichen Batterieladezustände auch an den nicht fahrleitungsüberspannten Linienenden sind einige Linienenden mit zusätzlichen Ladeeinrichtungen zum langsamen Befahren ausgestattet (Tabelle 6-4). Hierfür sind im Mengengerüst und bei der Kostenberechnung jeweils 25 m Fahrleitung, 5 Maste, 2 Eindrahteinrichtungen sowie Leistungs- und Masttrennschalter berücksichtigt. Zusätzliche stationäre Ladeeinrichtungen sind szenarioabhängig im Depot jeweils für die entsprechende Anzahl an Reservefahrzeugen vorgesehen (Tabelle 6-4).	Pour déterminer la surface de terrain requise pour les sous-stations de redressement, on a supposé une construction en conteneur compact de l'installation pour tous les emplacements de sous-stations. On a supposé une superficie de 50 m², accès compris, pour chaque sous-station et ses équipements de sectionneurs. Les surfaces totales des sous-stations des scénarios sont résumées dans le tableau 6-4. L'alimentation de la ligne aérienne à partir des postes de redressement s'effectue par des systèmes de câbles (section de conducteur 400 mm² Cu) et des disjoncteurs. Les longueurs de câble individuelles requises et le nombre de disjoncteurs sont indiqués dans le tableau 6-4. Pour garantir les niveaux de charge requis des batteries également aux extrémités de la ligne qui ne sont pas équipées de ligne aérienne, certaines extrémités de ligne sont équipées de dispositifs de charge supplémentaires parcourables à faible vitesse (tableau 6-4). À cette fin, 25 m de ligne aérienne, 5 poteaux, 2 dispositifs de prise de perche (NDT dièdres) ainsi que des disjoncteurs et des sectionneurs sur poteau sont pris en compte dans le calcul des quantités et des coûts. Selon le scénario, des installations de charge à poste fixe supplémentaires sont prévues dans le dépôt pour le nombre correspondant de véhicules de réserve (tableau 6-4).	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

176

Tabelle 6-4: Anzahl Unterwerke, Ladeeinrichtungen, Schalter und Kabellängen

Tableau 6-4 : Nombre de sous-stations, de dispositifs de charge, d'interrupteurs et longueurs de câbles

Unterwerkstyp **Type de Sous-station**	**Szenario A** **Scénario A**	**Szenario B** **Scénario B**	**Szenario C** **reduziertes Netz** **Scénario C** **réseau réduit**
1 Gleichrichter (500 A), 1 Transformator 500 kVA 1 Redresseur, 1 transformateur	23	17	28
1 Gleichrichter (750 A), 1 Transformator 750 kVA 1 Redresseur, 1 transformateur	16	10	10
1 Gleichrichter (1.000 A), 1 Transformator 1.000 kVA 1 Redresseur, 1 transformateur	11	14	4
1 Gleichrichter (1.500 A), 1 Transformator 1.500 kVA 1 Redresseur, 1 transformateur	2	4	2
2 Gleichrichter (je 1.000 A), 2 Transformatoren je 1000 kVA 2 Redresseurs, 2 transformateurs	1	1	-
Unterwerksanzahl gesamt **Nombre total de sous-stations**	**53**	**46**	**44**
Grundstücksfläche gesamt **Surface au sol total**	**2.750 m²**	**2.300 m²**	**2.200 m²**
Länge Einspeisekabel (Guw-FL) gesamt **Longueur totale des câbles d'alimentation**	54.210 m	65.700 m	58.500 m
Anzahl Leistungsschalter **Nombre de disjoncteurs**	129	103	93
Anzahl Masttrennschalter Nombre de sectionneurs pour poteaux	129	103	93
Ladeeinrichtungen Endhaltestellen **Nombre d'installations de charge aux terminus**	10	13	10
Ladeeinrichtungen im Depot **Nombre d'installations de charge au dépôt**	18	18	13

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

177	**6.2 Einzelkostenwerte und Betriebskosten** **6.2.1 Investitionen für Fahrzeuge** Erste Recherchen ergaben einen vergleichsweise breiten Investitionsrahmen von 300.000 bis 1.000.000 € für HO-Gelenkbusse [126] [16] [112]. Reale Daten von Fahrzeugbeschafungen verringern diesen Rahmen auf 500.000 € bis 800.000 €. Für die vorliegende Studie wurde unter Berücksichtigung von signifikanten Skaleneffekten für das Hobus Netz in Berlin ein Wert von 760.000 € für einen Gelenkbus angesetzt (Tabelle 6-5). Für HO-Doppel-Gelenkbusse ergaben Recherchen eine Investitionsbandbreite von 1.000.000 bis 1.700.000 € [126] [117]. Unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten [112] [113] und Skaleneffekten wurden in der vorliegenden Untersuchung Investitionen von 1.200.000 € pro Doppel-Gelenkbus angesetzt (Tabelle 6-5). Recherchen zu Investitionskosten für Batterien lieferten ebenfalls große Spannen. Signifikante Unterschiede in den Investitionen ergaben sich hier vor allem zwischen Literaturangaben und den Erfahrungswerten [116] [112]. Genauere Recherchen ergaben, dass eine Batterie mit Kühlung und Managementsystem Investitionen von mindestens 800 €/kWh [121] erfordert. Erfahrungswerte zeigen jedoch, dass auch Werte von bis zu 1.200 €/kWh [16] möglich sind. Unter Berücksichtigung zukünftig sinkender Herstellerkosten, aber aufgrund rasant steigender Nachfrage und steigender Marktpreise wurde für die Berechnungen ein Wert von 1.000 €/kWh angesetzt (Tabelle 6-5).	6.2 Coûts unitaires et coûts d'exploitation 6.2.1 Investissements pour les véhicules Les recherches initiales ont révélé une fourchette d'investissement relativement large allant de 300 000 à 1 000 000 € pour les trolleybus IMC articulés [126] [16] [112]. Les données réelles des achats de véhicules réduisent cette fourchette à 500 000 € à 800 000 €. Pour la présente étude, une valeur de 760 000 € pour un autobus articulé a été utilisée, en tenant compte des économies d'échelle importantes pour le réseau Trolleybus IMC à Berlin (tableau 6-5). Pour les Trolleybus IMC à double articulation, les recherches ont montré une fourchette d'investissement de 1 000 000 à 1 700 000 € [126] [117]. En tenant compte des valeurs constatées [112] [113] et des économies d'échelle, des investissements de 1 200 000 € par trolleybus à double articulation ont été utilisés dans la présente étude (tableau 6-5). Les recherches sur les coûts d'investissement des batteries ont également donné lieu à de larges fourchettes. Des différences significatives dans les investissements ont été constatées ici, notamment entre les données de la littérature et les valeurs constatées [116] [112]. Des recherches plus détaillées ont montré qu'une batterie avec un système de refroidissement et de gestion nécessite des investissements d'au moins 800 €/kWh [121]. Toutefois, des valeurs constatées montrent que des valeurs allant jusqu'à 1 200 €/kWh [16] sont également possibles. Compte tenu de la baisse des coûts des fabricants à l'avenir, mais de l'augmentation rapide de la demande et de la hausse des prix du marché, une valeur de 1 000 €/kWh a été utilisée pour les calculs (tableau 6-5).	
177	Tabelle 6-5: Einzelkostenschätzung für Busse und Batterien Tableau 6-5 : Estimation du coût unitaire pour les autobus et les batteries		

Investition **Investissement**	**Kostenschätzung** **Estimation du coût**	**Einheit** **Unité**
HO-Gelenkbus, ohne Batterien Trolleybus articulé IMC sans les batteries	760.000	€/Stk. Euros/véhicule
HO-Doppelgelenkbus, ohne Batterien Trolleybus bi-articulé IMC sans les batteries	1.200.000	€/Stk. Euros/véhicule
Batterien Batteries	1.000	€/kWh

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

177	**6.2.2 Investitionen der Infrastruktur** Die Investitionen in die Infrastruktur wurden auf Basis bisheriger Studien der Professur für Elektrische Bahnen und Expertengesprächen ermittelt, wobei als Richtwert für einen Kilometer Oberleitungsinfrastruktur 500.000 € angegeben wurden.	6.2.2 Investissements dans les infrastructures Les investissements dans l'infrastructure ont été déterminés sur la base d'études antérieures de la Chaire des Trains Electriques et de discussions d'experts, selon lesquelles 500.000 € ont été donnés comme valeur indicative pour un kilomètre d'infrastructure de ligne aérienne.	Cela ne semble concerner que les fils sans les poteaux car, avec les poteaux : - Si c'est compté pour 2 fils (un seul sens ou une voie simple) c'est un tout petit peu faible, notamment car tout est avec poteaux. -Si c'est compté pour 4 fils (2 sens), c'est très nettement sous-estimé, la valeur pour la France tournant autour des 1 à 1,2 millions d'euros

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

178	Grundsätzlich lässt sich die Infrastruktur in Komponenten der Fahrleitungsanlage und der Energieversorgung unterteilen. Die Fahrleitung besteht aus Komponenten wie den Fahrdrähten, Verstärkungsleitungen, Masten und deren Fundamenten. Zusätzlich umfasst sie unter anderem Fahrleitungsverbinder, Trenner und Eindrahteinrichtungen. Zur Energieversorgung zählen Unterwerke, Mittelspannungsanschlüsse, Kabel, Einspeisungspunkte mit der jeweiligen Schalterausrüstung und Ladestationen im Depot und an den Endhaltestellen. Im Rahmen der Recherche zu den erwartenden Investitionen wurde für die Infrastruktur eine Bandbreite erstellt, die analysiert und eingegrenzt wurde. So ergaben sich für eine 2-drähtige Fahrleitung Investitionen zwischen 85.000 und 150.000 €/km, für eine 4-drähtige Fahrleitung Werte zwischen 150.000 und 245.000 €/km und für eine 8-drähtige Fahrleitung Werte zwischen 280.000 und 380.000 €/km. Für Maste ergaben sich Investitionen zwischen 2.000 und 4.100 € pro Stück und 1.800 bis 3.000 € pro Fundament. Die Prüfung dieser Bandbreiten unter Berücksichtigung von Herstellerangaben ergab, dass sich die zu erwartenden Investitionen am unteren Rand der angegebenen Bandbreiten bewegen werden. Für die vorliegende Berechnung wurden Investitionen von 95.000 €/km für eine 2-drähtige Fahrleitung, 160.000 €/km für eine 4-drähtige Fahrleitung und 300.000 €/km für eine 8-drähtige Fahrleitung angesetzt (Tabelle 6-6). Für Masten wurden Stückkosten von 2.200 €, und für deren Fundamente 3.000 € festgelegt. Bei einem Mastabstand von 31,5m ergeben sich für die reine Oberleitung Investitionen von 266.000 €/km (2-drähtig), 491.000 €/km (4-drähtig) und 631.000 €/km (8-drähtig) [16] [124] [112] [120] [125].	Fondamentalement, l'infrastructure peut être divisée en composants de la ligne arienne et de l'alimentation électrique. La ligne aérienne se compose d'éléments tels que les fils de contact, les feeders de renforcement, les poteaux et leurs fondations. En outre, elle comprend, entre autres, des liaisons entre fils, des sectionneurs et des équipements de câblage. L'approvisionnement en énergie comprend les sous-stations, les connexions moyenne tension, les câbles, les points d'alimentation avec les équipements d'interruption respectifs et les stations de recharge dans le dépôt et aux arrêts terminaux. Dans le cadre de la recherche sur les investissements attendus, une fourchette a été établie pour les infrastructures, qui a été analysée et réduite. Par exemple, des investissements compris entre 85 000 et 150 000 €/km ont été trouvés pour une ligne aérienne à 2 fils, entre 150 000 et 245 000 €/km pour une ligne aérienne à 4 fils et entre 280 000 et 380 000 €/km pour une ligne aérienne à 8 fils. Pour les poteaux, les investissements se situent entre 2 000 et 4 100 € par pièce et entre 1 800 et 3 000 € par fondation. L'examen de ces fourchettes, en tenant compte des spécifications des fabricants, a montré que les investissements prévus se situeront dans la partie inférieure des fourchettes spécifiées. Pour le présent calcul, on a supposé des investissements de 95 000 €/km pour une ligne aérienne à 2 fils, 160 000 €/km pour une ligne aérienne à 4 fils et 300 000 €/km pour une ligne aérienne à 8 fils (tableau 6-6). Des coûts unitaires de 2 200 € ont été fixés pour les mâts et de 3 000 € pour leurs fondations. Avec un espacement des mâts de 31,5 m, cela se traduit par des investissements de 266 000 €/km (2 fils), 491 000 €/km (4 fils) et 631 000 €/km (8 fils) pour la seule ligne aérienne [16] [124] [112] [120] [125].	Je ne dispose pas d'éléments aussi détaillés pour donner un avis

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

178	Für die Querverbindung von Fahrleitungen wurden Investitionen von 850 €/Stk. Angesetzt. Für die Trenner, die einzelne Speiseabschnitte elektrisch voneinander trennen, wurden Investitionen von 5.000 €/Stk. Angesetzt. Hier wird von Diodentrennern ausgegangen, um bei Fahrten über die Trenner bei hohen Strömen Lichtbögen zu vermeiden, da diese die Trenner auf Dauer zerstören können. Für Eindrahteinrichtungen wurden in der vorliegenden Untersuchung Investitionen von 600 €/Stk. Angesetzt [16] [112] Tabelle 6-6. Da der Bau von innerstädtischen Oberleitungsanlagen auch Bauarbeiten in der Nacht erfordert, wird auf die Gesamtinvestitionen der Anlage ein pauschaler Nachtzuschlag von 22,5% aufgeschlagen [16].	Pour les liaisons transversales entre lignes aériennes (NDT les équipotentielles), des investissements de 850 €/pièce ont été appliqués. Pour les isolateurs de section, qui séparent électriquement les différentes sections d'alimentation les unes des autres, des investissements de 5 000 €/pièce ont été appliqués. Dans ce cas, des isolateurs de section à diodes sont utilisés afin d'éviter les arcs électriques lors du passage sur les isolateurs, car ceux-ci peuvent détruire les isolateurs de section à long terme. Dans la présente étude, des investissements de 600 €/pièce ont été pris en compte pour des dispositifs d'emperchage (NDT : les entonnoirs appelés aussi dièdres fixés à la ligne aérienne). [16] [112] Tableau 6-6. Étant donné que la construction de systèmes de lignes aériennes de contact dans les centres-villes nécessite également des travaux de nuit, une majoration de nuit forfaitaire de 22,5 % est ajoutée à l'investissement total pour le système [16].	
178	Ein signifikanter Investitionsschwerpunkt bei der Energieversorgung des Hobusnetzes sind Gleichrichterunterwerke (GUW). Hier zeigen Recherchen, dass es sehr unterschiedliche Angaben zu den Investitionen gibt. Für den Neubau eines Unterwerks wurden Investitionen von 600.000 €/MW veranschlagt, die sich aus Investitionen für Transformatoren, Gleichrichtern, Lasttrennschaltern, Streckenabgängen sowie Belüftung zusammensetzen [122] [120] [125]. Der Anschluss der GUWs an das Mitttelspannungsnetz wird jeweils mit 10.000 €/Stk. Angesetzt [123]. Für die Kabelverbindungen zwischen GUW und Einspeisepunkt an der Fahrleitung (Leiterquer-schnitte von 400 mm² Cu) wurden Investitionen von 300 €/m veranschlagt. [123] [115] [114] [120]. Diese setzen sich aus den Investitionen für den Tiefbau im bebauten Gelände und den Materialkosten zusammen. Die Investitionen für die Fahrleitungseinspeisungen, Leistungsschalter (High-Speed circuit breakers) und Masttrennschalter wurden mit 61.000 €/Stk und 6.000 €/Stk. Berücksichtigt. [112] [16]. Der durchschnittliche Grunderwerbswert liegt gemäß [118] zwischen 1.100 und 1.200 €/m2. Dieser Wert wird maßgeblich durch Unterwerksstandorte am Bahnhof S+U Zoologischer Garten, Schlüterstraße und Kaiser-Friedrich-Straße (Kantstraße) beeinflusst (Tabelle 6-6).	Les sous-stations de redressement (SST) constituent un point important des investissements pour l'approvisionnement en énergie du réseau de trolleybus IMC. Ici, la recherche montre que des informations très différentes sur les investissements sont données. Pour la construction d'une nouvelle sous-station, des investissements de 600 000 €/MW ont été estimés, comprenant des investissements pour les transformateurs, les redresseurs, les disjoncteurs, les lignes d'alimentation ainsi que la ventilation [122] [120] [125]. Le raccordement des sous-stations au réseau moyenne tension est estimé à 10 000 €/pièce [123]. Pour les connexions par câbles entre la sous-station et le point d'alimentation de la ligne aérienne (sections de conducteurs de 400 mm² Cu), des investissements de 300 €/m ont été estimés. [123] [115] [114] [120]. Il s'agit de l'ensemble des investissements pour le génie civil dans des zones bâties et des coûts des matériaux. Les investissements pour les alimentations de la ligne aérienne, les disjoncteurs (disjoncteurs rapides) et les sectionneurs pour poteaux ont été pris en compte respectivement à 61 000 €/pièce et 6 000 €/pièce. [112] [16]. Selon [118], la valeur moyenne d'acquisition des terrains se situe entre 1 100 et 1 200 €/m2. Cette valeur est fortement influencée par l'emplacement des sous-stations de la station RER et métro S+U Zoologischer Garten, des arrêts Schlüterstraße et Kaiser-Friedrich-Straße (Kantstraße) (tableau 6-6).	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

179	Trotz weitgehender Energieversorgung der Busse über die Oberleitungsanlage wurden Ladevorrichtungen an bestimmten Endhaltestellen und im Depot berücksichtigt. An den betroffenen Endhaltestellen wurden jeweils 25 m Fahrdraht berücksichtigt, um den Bus dort mit maximal 80 A zu laden. Für diese Ladevorrichtungen wurden Investitionen von 90.600 €/Stk. Veranschlagt. Für eine Ladestation im Depot wurden 25.000 €/Stk. Angesetzt (Tabelle 6-6). Hier kann auf eine handelsübliche Ladestation zurückgegriffen werden. [112] Planungskosten und Unvorhergesehenes wurden mit einem pauschalen Ansatz von 12% und 2% der Infrastrukturinvestitionen berücksichtigt (Tabelle 6-6).	Bien que les trolleybus soient en grande partie alimentés en énergie par le système de lignes aériennes, des dispositifs de recharge ont été pris en compte à certains arrêts terminaux et dans le dépôt. A chacun des arrêts terminaux concernés, 25 m de lifgne aérienne ont été pris en compte afin d'y charger le bus avec un maximum de 80 A. Pour ces dispositifs de charge, des investissements de 90 600 €/pièce ont été estimés. Pour une station de recharge dans le dépôt, 25 000 €/pièce ont été appliqués. (tableau 6-6). Une station de recharge disponible dans le commerce peut être utilisée ici. [112] Les coûts de planification et les imprévus ont été pris en compte avec un taux forfaitaire de 12 % et 2 % des investissements en infrastructures (tableau 6-6).	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

179

Tabelle 6-6: Investitionsschätzung für Fahrleitung, Energieversorgung, Grunderwerb und Zusatzkosten
Tableau 6-6 : Estimation de l'investissement pour la ligne aérienne, l'approvisionnement en énergie, l'acquisition de terrains et les coûts supplémentaires.

Kategorie Catégorie	Komponenten Composants	Kosten Coûts	Einheit Unité
Fahrleitungsanlage Ligne aérienne	Fahrleitung 2-dr. Ri107, Ligne aérienne 2 fils RI107	95.000	€/km
	Fahrleitung 4-dr. Ri107, Ligne aérienne 4 fils RI107	160.000	€/km
Zusätzliches Fahrleitungsmaterial Matériel supplémentaire de ligne aérienne	Fahrleitung 8-dr. Ri107, Ligne aérienne 8 fils RI107	300.000	€/km
	Masten Poteaux	2.200	€/Stk €/pièce
	Fundamente Fondations	3.000	€/Stk €/pièce
	FL-Querverbinder Liaisons transversales entre fils	850	€/Stk €/pièce
	Diodentrenner Isolateur de sections avec diodes	5.000	€/Stk €/pièce
	Eindrahteinrichtung Dièdre d'emperchage	600	€/Stk €/pièce
	120 mm2 Cu-Verbindungskabel Câble de liaison 120 mm2 Cu	150	€/m
Energieversorgung Alimentation en énergie	240 mm2 Cu-Verbindungskabel Câble de liaison 240 mm2 Cu	200	€/m
	Kabelverlegung unterhalb Straße Pose de câble sous chaussée	50	€/m
	Gleichrichterunterwerke Sous-Station	600.000	€/MW
	Mittelspannungsanschlüsse Connexions moyenne tension	10.000	€/Stk €/pièce
	Kabel GUW-Einspeisung (400 mm2 Cu) Câble d'alimentation de la sous-station (400 mm2 Cu)	300	€/m

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

Tabelle 6-6: Investitionsschätzung für Fahrleitung, Energieversorgung, Grunderwerb und Zusatzkosten
Tableau 6-6 : Estimation de l'investissement pour la ligne aérienne, l'approvisionnement en énergie, l'acquisition de terrains et les coûts supplémentaires.
(Suite)

Kategorie Catégorie	Komponenten Composants	Kosten Coûts	Einheit Unité
Ladeeinrichtungen Installation de charge	Lasttrennschalter (High-Speed Circuit Breaker) Disjoncteur (Disjoncteur ultra rapide)	61.000	€/Stk €/pièce
	Masttrennschalter Sectionneur pour poteau	6.000	€/Stk €/pièce
	Endhaltestelle En terminus	90.600	€/Stk €/pièce
	Depot Dépot	25.000	€/Stk €/pièce
Grunderwerb Acquistion de terrain	Grunderwerb Unterwerke Acquistion de terrain pour Sous-station	1.200	€/m2
Zusatzkosten Coûts additionnels	Nachtzuschlag auf Fahrleitungsanlage Majoration pour travail de nuit sur les lignes aériennes	22,5	%
	Planung Planification	12	%
	Unvorhergesehenes Imprévus	2	%

180

6.2.3 Betriebskostenschätzung

Die Betriebskosten setzten sich aus Instandhaltungskosten für Fahrzeuge und Infrastruktur, Energiekosten, Betriebspersonal sowie Reinvestitions- und Refurbishment-Kosten zusammen.
Für die Berechnung der Energiekosten wurden 15 ct/kWh angenommen. Dieser Wert entstammt den grundsätzlichen Annahmen der MKS zum Strompreis der Industrie (16 ct/kWh) [69]. Da bei Hybridoberleitungsbussen die zu leistende Energiesteuer geringer ist, reduziert sich der Energiepreis der Industrie um 1 ct/kWh.

6.2.3 Estimation des coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation comprennent les coûts d'entretien des véhicules et des infrastructures, les coûts énergétiques, le personnel d'exploitation ainsi que les coûts de réinvestissement et de rénovation.
Pour le calcul des coûts énergétiques, on a supposé 15 ct/kWh. Cette valeur provient des hypothèses de base du MKS (NDT : il semble que ce soit une étude allemande Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) Mobilités et stratégie pour les carburants) sur le prix de l'électricité dans l'industrie (16 ct/kWh) [69]. La taxe à payer sur l'énergie étant plus faible pour les trolleybus hybrides, le prix de l'énergie pour l'industrie est réduit de 1 ct/kWh.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

181	Die Instandhaltungs- und Reparaturkosten berechnen sich aus den jährlichen Fahrleistungen und dem Unterhaltungskostensatz pro km. Als Unterhaltungskostensatz des Hybridoberleitungsgelenkbusses werden Annahmen der BVG von 0,50 Euro pro km verwendet. Aufbauend auf diesen Kostensatz wurden die Unterhaltungskosten für Doppelgelenkbusse auf 0,56 Euro pro km hochgerechnet. Die Hochrechnung lehnt sich an der Standardisierten Bewertung an. [103] Nach 10 Jahren wird der Bus überholt, um verschlissene und austauschbare Komponenten wie die Inneneinrichtung zu erneuern (Refurbishment). Diese Überholungskosten wurden mit 30.000 € pro Bus berücksichtigt [16] (Tabelle 6-7). Die gesamte Bus-Lebensdauer beträgt 16 Jahre. Der Restwert des Busses wird linear über die Nutzungsdauer bestimmt. Die Fahrzeugversicherung wurde mit 3.500 €/a je Fahrzeug angesetzt	Les coûts d'entretien et de réparation sont calculés à partir du kilométrage annuel et du barème de coût d'entretien par km. Le barème de coût d'entretien du trolleybus hybride est basé sur les hypothèses BVG (NDT l'exploitant des transports de Berlin) de 0,50 euros par km. Sur la base de ce barème de coût, les coûts d'entretien des autobus à double articulation ont été extrapolés à 0,56 euros par km. L'extrapolation est basée sur l'évaluation standardisée. [103] Après 10 ans, le bus est révisé pour renouveler les composants usés et remplaçables tels que les aménagements intérieurs (rénovation). Ces coûts de rénovation ont été considérés comme étant de 30 000 € par bus [16] (tableau 6-7). La durée de vie totale du bus est de 16 ans. La valeur résiduelle du bus est déterminée de façon linéaire sur la durée de vie utile. L'assurance des véhicules a été fixée à 3 500 €/an par véhicule.	En 1989, à Reims (21-1244V), les coûts d'entretien (main d'oeuvre + pièces) étaient les suivants : SC10 12m : 3,71 FRF/km PR180 18m : 4,95 FRF/km Une articulation rajoute donc environ 33% au coût Il semble donc que 0,56 euros (soit seulement 15% de plus) soit sous-estimé
181	Die Instandhaltung der Fahrleitung enthält Kosten für Fahrleitungspersonal, Fahrzeuge und Material. Die Instandhaltungskosten einer 2-drähtigen Fahrleitung betragen ca. 2.500 €/km pro Jahr. Diese Kosten wurden für 4-drähtige und 8-drähtige Fahrleitungen linear skaliert, d.h. auf 5.000 €/km pro Jahr für 4-drähtige und 10.000 €/km pro Jahr für 8-drähtige Fahrleitungen. In Abhängigkeit der Abnutzung werden alle 30 bis 35 Jahre ein Fahrdrahttausch und alle 20 bis 25 Jahre ein Tausch der Aufhängung erforderlich. Dafür wurden Kosten von 25.000 €/km für eine zweispurige Fahrleitung und 20.000 €/km für die Aufhängung angesetzt (Tabelle 6-7). Weitere Betriebskosten der Fahrleitungsanlage entstehen durch die Wartung von Gleichrichterunterwerken, die mit 3.300 €/a berücksichtigt wurden. Jährliche Wartungskosten von Masten wurden mit 2% der Investitionskosten angesetzt [119] [120]. Diese enthalten die jährliche Inspektion, die Reinigung sowie die im 5-jährigen Zyklus durchgeführte Prüfung, die in der BOStrab vorgesehen ist. Die Kosten für das Fahrpersonal beruhen auf Angaben der BVG zum Personaleinsatz. Für die Instandhaltung pro Ladestation wurden 2.000 €/a angesetzt [112].	L'entretien de la ligne aérienne comprend les coûts du personnel, des véhicules et du matériel affectés à la ligne aérienne. Les coûts d'entretien d'une ligne aérienne à 2 fils s'élèvent à environ 2 500 €/km par an. Ces coûts ont été mis en proportion linéraire pour les lignes aériennes à 4 fils et à 8 fils, c'est-à-dire à 5 000 €/km par an pour les lignes aériennes à 4 fils et à 10 000 €/km par an pour les lignes aériennes à 8 fils. En fonction de l'usure, un remplacement du fil de contact est nécessaire tous les 30 à 35 ans et un remplacement de la suspension tous les 20 à 25 ans. Pour cela, des coûts de 25 000 €/km pour une ligne aérienne double voie et de 20 000 €/km pour la suspension ont été pris (tableau 6-7). D'autres coûts d'exploitation des installations de ligne aérienne proviennent de la maintenance des postes de redressement, qui ont été pris en compte avec 3 300 €/an. Les coûts de maintenance annuels des poteaux ont été fixés à 2 % des coûts d'investissement [119] [120]. Il s'agit notamment de l'inspection annuelle, du nettoyage ainsi que de l'inspection effectuée selon un cycle de 5 ans, qui est prévue par le BOStrab (NDT : règlement allemand pour l'exploitation des tramways). Les coûts pour le personnel de conduite sont basés sur les informations de la BVG (NDT : Transports de Berlin) sur l'utilisation du personnel. Pour la maintenance par station de recharge, 2 000 €/an ont été estimés [112].	Surprenant que les suspensions durent moins longtemps que le fil, mais je n'ai pas de connaissance sur le sujet

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

181

Tabelle 6-7: Basis der Betriebskostenschätzung der Hobusse
Tableau 6-7 : Base de l'estimation des coûts d'exploitation des trolleybus IMC

Kategorie **Catégorie**	**Komponenten** **Elements**	**Kosten** **Coûts**	**Einheit** **Unité**
Energiekosten **Coûts d'énergie**	Stromkosten Coûts du courant	15	ct/kWh
Instandhaltung **Entretien**	Gelenkbus Bus articulé	50,0	ct/Fzg-km ct/véhicule-km
	Doppelgelenkbus Bus biarticulé	56	ct/Fzg-km ct/véhicule-km
	Fahrzeugversicherung Assurance véhicules	3.500	€/a €/an
	FL-Turmwagen Camion échelle entretien lignes aériennes	4.500	€/a €/an
	Fahrleitung (2-dr.) Ligne aérienne 2 fils	2.500	€/km pro Jahr €/km par an
	Fahrleitung (4-dr.) Ligne aérienne 4 fils	5.000	€/km pro Jahr €/km par an
	Fahrleitung (8-dr.) Ligne aérienne 8 fils	10.000	€/km pro Jahr €/km par an
	Gleichrichterunterwerke Sous-station de redressement	3.300	€/a €/an
Modernisierung **Rénovation**	Masten Poteaux	2	% der Investitionskosten % des coûts d'investissement
	Instandhaltung Ladestation Entretien des stations de charge	2.000	€/a €/an
	Austausch Fahrdraht Remplacement du fil de contact	25.000	€/km
	Austausch Fahrdrahtaufhängung Replacement des suspensions du fil de contact	20.000	€/km
	Modernisierung Fahrzeug Rénovation des véhicules	30.000	€

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

183	**6.3 Szenariospezifische Investitionen** **6.3.1 Zusammenfassung der Szenarien** Tabelle 6-8 zeigt eine Übersicht über die Investitionen aller Szenarien, die in den Abschnitten 6.3.2 bis 6.3.5 weiter erläutert werden.	6.3 Investissements spécifiques aux scénarios 6.3.1 Résumé des scénarios Le tableau 6-8 donne un aperçu des investissements pour tous les scénarios, qui sont expliqués plus en détail dans les sections 6.3.2 à 6.3.5.	

183 Tabelle 6-8: Investitionen der untersuchten Szenarien Tableau 6-8 : Investissements pour les scénarios examinés

NDT, les „T“ (Tausend) du tableau originel ont été remplacés par « .000 »

Kategorie Catégorie	**Szenario A** **Scénario A**	**Szenario B** **Scénario B**	**Szenario C** **reduziertes Netz** **Scénario C** **Réseau réduit**	**Hochlaufszenario** **Scénario de démarrage**
Gelenkbusse (inkl. Reserve) Bus articulés (réserve incluse)	94.016.000.€	94.016.000.€	94.016.000.€	-
Doppelgelenkbusse (inkl. Reserve) Bus biarticulés (réserve incluse)	94.128.000.€	94.128.000.€	20.352.000.€	20.352.000.€
Fahrleitung Ligne aérienne	64.391.000.€	51.508.000.€	37.878.000.€	5.241.000.€
Zusätzliches Fahrleitungsmaterial Matériaux additionnels pour la ligne aérienne	1.828.000.€	745.000.€	654.000.€	48.000.€
Energieversorgung Alimentation en énergie	49.136.000.€	49.871.000.€	41.321.000.€	8.238.000.€
Ladeeinrichtungen Installations de charge	1.416.000.€	1.705.000.€	1.291.000.€	147.000.€
Grunderwerb Achat de.terrains	3.493.000.€	2.599.000.€	2.552.000.€	406.000.€
Planung und Unvorhergesehenes Planification et imprévus	16.837.000.€	14.900.000.€	11.717.000.€	1.971.000.€
Fahrzeuge Gesamt **Véhicules. Total**	**188.144.000 €**	**188.144.000 €**	**114.368.000 €**	**20.352.000 €**
Infrastruktur Gesamt **Infrastructures.Total**	**137.100.138 €**	**121.328.227 €**	**95.412.319 €**	**16.051.419 €**
Investitionen Gesamt **Investissements. Total**	**325.244.138 €**	**309.472.227 €**	**209.780.319 €**	**36.403.419 €**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

183	**6.3.2 Szenario A** Szenario A weist den höchsten Elektrifizierungsgrad aller untersuchten Szenarien auf, weshalb die Investitionen der Infrastruktur und die Gesamtinvestitionen im Vergleich zu Szenaren B und C höher ausfallen. Für den Regelbetrieb werden in diesem Szenario 102 Gelenk-busse und 67 Doppelgelenkbusse benötigt. Die Anzahl der erforderlichen Reservefahrzeuge beträgt 11 Gelenk-, und 7 Doppelgelenkbusse. Basierend auf den in Abschnitt 7.2 aufgeführten Investitionsansätzen entstehen für die Busflotte im Szenario A Gesamtinvestitionen von 188.144.000 €. Der Batterieanteil an den Gesamtinvestitionen beträgt 13.464.000 € (ca. 7% der Fahrzeuggesamtkosten). Die Fahrleitungsanlage im Szenario A besteht aus 7.000 m 2-drähtiger Fahrleitung, 65.750 m 4-drähtiger Fahrleitung und 29.250 m 8-drähtiger Fahrleitung. Das entspricht einer Fahrleitungslänge von insgesamt 197 km. Die Investitionen in die Fahrleitungsanlage (inkl. Nachtzuschlag von 22,5%) betragen 66.219.026 €. Die Gesamtinvestitionen in die Energieversorgung belaufen sich auf 49.136.000 €. Davon entfallen ca. 50% auf die Unterwerke und ca. 33% die Speisekabel (ca. 54 km) zwischen den Unterwerken und Einspeisepunkten. Die übrigen Investitionen in die Energieversorgung entfallen auf die Mittelspannungsanschlüsse, Leistungs- und Masttrennschalter. Die Ladeeinrichtungen und der Grunderwerb stellen mit 1% (1,4 Mio. €) bzw. 2,5% (3,5 Mio. €) vergleichsweise geringe Anteile der Infrastrukturinvestitionen dar. Die Investitionen in die Infrastruktur (inklusive Planung und Unvorhergesehenes) betragen im Szenario A insgesamt 137.100.138 €. Die Gesamtinvestitionen (Fahrzeuge und Infrastruktur) betragen im Szenario A 325.244.138 €.	6.3.2 Scénario A Le scénario A présente le plus haut degré d'électrification de tous les scénarios analysés, c'est pourquoi les investissements en infrastructure et les investissements totaux sont plus élevés par rapport aux scénarios B et C. En exploitation, 102 autobus articulés et 67 autobus à double articulation sont nécessaires dans ce scénario. Le nombre de véhicules de réserve nécessaires est de 11 autobus articulés et de 7 autobus à double articulation. Sur la base des estimations d'investissement énumérées à la section 7.2, l'investissement total pour la flotte de bus dans le scénario A s'élève à 188 144 000 €. La part de la batterie dans l'investissement total s'élève à 13 464 000 € (environ 7 % du coût total du véhicule). Les installations de ligne aérienne dans le scénario A se composent de 7000 m de lignes aériennes à 2 fils, 65750 m de lignes aériennes à 4 fils et 29250 m de lignes aériennes à 8 fils. Cela correspond à une longueur totale de ligne aérienne de 197 km. Les investissements dans la ligne aérienne (y compris la majoration pour travaux de nuit de 22,5%) s'élèvent à 66.219.026 €. L'investissement total dans l'alimentation électrique s'élève à 49.136.000 €. Les sous-stations en représentent environ 50 % et les câbles d'alimentation (environ 54 km) entre les sous-stations et les points d'alimentation environ 33 %. Les investissements restants dans l'alimentation électrique concernent les connexions moyenne tension, les disjoncteurs et les sectionneurs pour poteaux. Les installations de charge et l'acquisition de terrains représentent des parts relativement faibles des investissements en infrastructures, soit respectivement 1 % (1,4 million d'euros) et 2,5 % (3,5 millions d'euros). Les investissements dans les infrastructures (y compris la planification et les imprévus) s'élèvent à un total de 137.100.138 euros dans le scénario A. Le total des investissements (véhicules et infrastructures) dans le scénario A s'élève à 325 244 138 euros.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

184	**6.3.3 Szenario B** In diesem Szenario ist gegenüber dem Szenario A der Elektrifizierungsgrad reduziert. Das zu Grunde liegende Liniennetz bleibt unverändert. Die Gesamtfahrzeugflotte und damit die Fahrzeuginvestitionen sind gegenüber Szenario A identisch und betragen 188.144.000 €. Für Szenario B sind mit der Reduzierung des Elektrifizierungsgrades 3.500 m 2-drähtige Fahrleitung, 31.000 m 4-drähtige Fahrleitung und 41.050 m 8-drähtige Fahrleitung zu errichten. Dies ergibt eine Fahrleitungslänge von insgesamt 147,6 km. Die Investitionen in die Fahrleitungsanlage betragen insgesamt 52.252.795 €. Die Investitionen in die Energieversorgung betragen 49.871.000 €. Davon entfallen ca. 45% auf die Unterwerke und 40% auf die Speisekabel (ca. 66 km) zwischen den Unterwerken und Einspeisepunkten. Für die Ladeeinrichtungen sind mit 1.705.000 € gegenüber Szenario A aufgrund der reduzierten Fahrleitungslänge etwas höhere Investitionen erforderlich. Durch die geringere Unterwerksanzahl reduzieren sich die Aufwendungen für den Grunderwerb der Unterwerke gegenüber Szenario A um ca. 900.000 € auf 2.599.000 €. Die Investitionen in die Infrastruktur (inklusive Planung und Unvorhergesehenes) betragen im Szenario B 121.328.227 €. Die Gesamtinvestitionen (Fahrzeuge und Infrastruktur) betragen im Szenario B 309.472.227 € und liegen damit um insgesamt ca. 16 Mio. € (5%) niedriger im Vergleich zum Szenario A.	6.3.3 Scénario B Dans ce scénario, le degré d'électrification est réduit par rapport au scénario A. Le réseau des lignes exploitées reste inchangé. Le parc total de véhicules et donc les investissements en véhicules sont identiques au scénario A et s'élèvent à 188 144 000 €. Pour le scénario B, avec la réduction du niveau d'électrification, 3500 m de ligne aérienne à 2 fils, 31000 m de ligne aérienne à 4 fils et 41050 m de ligne aérienne à 8 fils doivent être construits. Il en résulte une longueur totale de ligne aérienne de 147,6 km. L'investissement total dans la ligne aérienne s'élève à 52.252.795 €. Les investissements dans l'approvisionnement en énergie s'élèvent à 49.871.000 €. Sur ce total, environ 45 % sont destinés aux sous-stations et 40 % aux câbles d'alimentation (environ 66 km) entre les sous-stations et les points d'alimentation. Pour les installations de charge, en raison de la longueur réduite de la ligne aérienne, l'investissement, de 1.705.000 €, est légèrement plus élevés par rapport au scénario A,. En raison du nombre moindre de sous-stations, les dépenses pour l'acquisition du terrain des sous-stations de 2.599.000 € sont réduites d'environ 900.000 € par rapport au scénario A. Les investissements dans l'infrastructure (y compris la planification et les imprévus) s'élèvent à 121.328.227 euros dans le scénario B. Les investissements totaux (véhicules et infrastructures) dans le scénario B s'élèvent à 309.472.227 € et sont donc inférieurs d'environ 16 millions € (5%) par rapport au scénario A.	Le fait que les investissements en véhicules sont identiques au scénario A qui comportait beaucoup moins de parcours sur batteries laisse penser que la durée de vie moindre des batteries du fait de cycles de décharge plus nombreux dans le scénario B n'a pas été prise en compte ; de même, on peut penser que le scénario A aurait pu se contenter de batteries de moindre capacités, donc moins coûteuses en investissement et renouvellement

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

185	**6.3.4 Szenario C** Im Szenario C ist die mit HObussen betriebene Liniennetzlänge gegenüber den Szenarien A und B um 35 km (15%) kürzer. Damit reduzieren sich die Fahrzeuganzahl sowie die Aufwendungen zur Errichtung und Betrieb der Infrastruktur. Die Fahrzeugflotte für den Betrieb setzt sich aus 102 Gelenkbussen und 14 Doppelgelenk-bussen zusammen. Unter Berücksichtigung von 10% Reservefahrzeugen werden für Szenario C 129 Busse benötigt, deren Investitionen insgesamt 114.368.000 € betragen. Im Szenario C werden 3.500 m mit 2-drähtiger Fahrleitung, 23.700 m mit 4-drähtige Fahr-leitung und 29.000 m mit 8-drähtiger Fahrleitung bespannt. Das ergibt eine Gesamtfahrleitungslänge von 108,9 km, ca. 39 km (26%) weniger als in Szenario B. Die Investitionen für die Fahrleitungsanlage betragen insgesamt 38.531.266 €. Die Investitionen in die Energieversorgung betragen 41.321.000 €. Davon entfallen 17.100.000 € (ca. 41%) auf die Unterwerke und 17.550.000 € (ca. 42%) auf die Speisekabel (ca. 59 km) zwischen den Unterwerken und Einspeisepunkten. Aufgrund der geringeren Liniennetzlänge und kleineren Busflotte sind die Investitionen für Ladeeinrichtungen an Endhaltestellen und im Depot mit insgesamt 1.291.000 € geringer als im Szenario B. Die Aufwendungen für den Grunderwerb der Unterwerke sind mit 2.552.000 € vergleichbar zum Szenario B. Die Investitionen für die Infrastruktur (inklusive Planung und Unvorhergesehenes) betragen im Szenario C 95.412.319 €. Die Gesamtinvestitionen (Fahrzeuge und Infrastruktur) betragen im Szenario C 209.780.319 € und liegen damit um ca. 100 Mio. € (32%) niedriger im Vergleich zum Sze-nario B.	6.3.4 Scénario C Dans le scénario C, la longueur du réseau exploité avec des trolleybus IMC est de 35 km (15 %) plus courte que dans les scénarios A et B. Cela réduit le nombre de véhicules ainsi que les coûts de construction et d'exploitation de l'infrastructure. Le parc de véhicules pour l'exploitation se compose de 102 autobus articulés et de 14 autobus à double articulation. En tenant compte de 10% de véhicules de réserve, 129 bus sont nécessaires pour le scénario C, avec un investissement total de 114.368.000 €. Dans le scénario C, sont posées 3500 m de ligne aérienne à 2 fils, 23700 m de ligne aérienne à 4 fils et 29000 m de ligne aérienne à 8 fils sont câblés. Il en résulte une longueur totale de lignes aériennes de 108,9 km, soit environ 39 km (26%) de moins que dans le scénario B. L'investissement total pour la ligne aérienne s'élève à 38.531.266 €. Les investissements dans l'approvisionnement en énergie s'élèvent à 41.321.000 €. Sur ce montant, 17.100.000 € (environ 41 %) pour les sous-stations et 17.550.000 € (environ 42 %) pour les câbles d'alimentation (environ 59 km) entre les sous-stations et les points d'alimentation. En raison de la plus petite longueur du réseau de lignes et de la plus petite flotte de bus, les investissements pour les installations de recharge aux arrêts terminaux et dans le dépôt sont plus faibles que dans le scénario B avec un total de 1.291.000 €. Les dépenses d'acquisition de terrains pour les sous-stations de 2.552.000 € sont comparables à celles du scénario B. Les investissements pour l'infrastructure (y compris la planification et les imprévus) s'élèvent à 95.412.319 € dans le scénario C. Les investissements totaux (véhicules et infrastructures) dans le scénario C s'élèvent à 209.780.319 € et sont donc inférieurs d'environ 100 millions d'euros (32%) par rapport au scénario B.	Le scénario C tient compte de l'exitence e lignes de tramway

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

185	**6.3.5 Hochlaufszenario** Als erste zu realisierende Linie wurde von der BVG die Linie M32 festgelegt. Für diese Linie wurden die erforderlichen Mengen und Investitionen separat ermittelt. Für das Hochlaufszenario sind 14 Doppelgelenkbusse und zusätzlich 2 Busse als Reserve anzuschaffen. Die Investitionen für die benötigten Fahrzeuge betragen mit den unter 6.2.1 beschriebenen Ansätzen 20.352.000 €. Für die Fahrleitungsanlage sind folgende Hauptkomponenten erforderlich: 1.100 m 2-drähtiger Fahrdraht, 400 m 4-drähtiger Fahrdraht und 5.900 m 8-drähtiger Fahrdraht sowie 450 Maste und Fundamente. Unter Berücksichtigung des Nachtzuschlages und dem zusätzlichem Fahrleitungsmaterial (Trenner, Eindrahteinrichtungen, Querverbinder) ergeben sich 5.289.000 € für die Investition der Fahrleitung. Die Investitionen für die Energieversorgung (Unterwerke, Einspeisekabel, Leistungs- und Masttrennschalter) betragen 8.238.000 €. Für die Ladeeinrichtungen an Endhaltestellen und im Depot liegen die Investitionen bei ca. 147.000 €. Der Grunderwerb beträgt ca. 406.000 €. Die Investitionen für die Infrastruktur (inklusive Planung und Unvorhergesehenes) des Hochlaufszenario belaufen sich auf ins-gesamt 16.051.419 €. Die Gesamtinvestitionen (Fahrzeuge und Infrastruktur) betragen für das Hochlaufszenario 36.403.419 €. Das sind ca. 17% der Investitionen des gesamten Szenarios C.	6.3.5 Scénario de démarrage La ligne M32 a été définie par la BVG (NDT : l'exploitant des transports de Berlin) comme la première ligne à être mise en œuvre. Pour cette ligne, les quantités et les investissements nécessaires ont été déterminés séparément. Pour le scénario de démarrage, 14 autobus à double articulation et 2 autobus supplémentaires de réserve doivent être achetés. Les investissements pour les véhicules nécessaires s'élèvent à 20.352.000 € avec les estimations décrites au point 6.2.1. Pour les lignes aériennes, les principaux composants suivants sont nécessaires : 1100 m de ligne aérienne à 2 fils, 400 m de de ligne aérienne à 4 fils et 5900 m de de ligne aérienne à 8 fils ainsi que 450 mâts et fondations. En tenant compte de la majoration pour travail de nuit et du matériel supplémentaire de la ligne aérienne (sectionneurs, dièdres d'emperchage, liaisons transversales), on obtient 5.289.000 € pour l'investissement de la ligne aérienne. Les investissements pour l'alimentation électrique (sous-stations, câbles d'alimentation, disjoncteurs et sectionneurs pour poteaux) s'élèvent à 8.238.000 €. Pour les installations de recharge aux arrêts terminaux et dans le dépôt, les investissements s'élèvent à environ 147.000 €. L'acquisition de terrains s'élève à environ 406.000 €. L'investissement total pour l'infrastructure (y compris la planification et les imprévus) du scénario de démarrage s'élève à 16.051.419 €. L'investissement total (véhicules et infrastructures) pour le scénario de démarrage est de 36.403.419 €. Cela représente environ 17% des investissements de l'ensemble du scénario C.	Surprenant qu'on ait autant de ligne aérienne à 8 fils pour une seule ligne de trolleybus. Peut-être qu'il y a des services express.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

187	**6.4 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung** **6.4.1 Untersuchungsfälle** Die Untersuchungsfälle zum Hybridoberleitungsbus sollen untereinander und mit dem heutigen Verkehrsangebot in Spandau, also dem Dieselbus-Einsatz verglichen werden. Darüber hinaus bestand zusätzlich der Wunsch einen Vergleich mit reinen Elektrobus-Varianten durchzuführen. Hierzu sind bei der BVG aktuell zwei Technologievarianten in der engeren Betrachtung, der so genannte „Depotlader“ und der „Gelegenheitslader“. Damit ergeben sich für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die folgenden Untersuchungsfälle: · Hybridoberleitungsbus („Streckenlader“) · Szenario A = Gesamtnetz / "Hoher Elektrifizierungsgrad" · Szenario B = Gesamtnetz / "Reduzierte Elektrifizierung" · Szenario C = Betrieblich reduziertes Netz (mit Berücksichtigung Straßenbahn) · Dieselbusnetz (Vergleichsfall, Istzustand 2018) · Elektrobusse · Depotlader · Gelegenheitslader Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung erfolgt unter Zusammenführung des technischen und betrieblichen Mengengerüstes der Untersuchung. Die Kosten zur Errichtung der Infrastruktur für den Hybridoberleitungsbus wurden vom IFB und der TU Dresden übernommen. Die spezifischen Kostensätze des Betriebes des Hybridoberleitungsbusses wurden von der TU Dresden ermittelt, abgestimmt und in die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung eingearbeitet.	6.4 Étude de l'efficacité économique 6.4.1 Cas d'étude Les cas d'étude pour le trolleybus hybride IMC doivent être comparés entre eux et avec l'offre de transport actuelle à Spandau, c'est-à-dire l'utilisation de bus Diesel. En outre, nous avons souhaité effectuer une comparaison avec des variantes de bus purement électriques. À cette fin, BVG (NDT : l’exploitant des transports de Berlin) envisage actuellement deux variantes technologiques, la "charge en dépôt" et la "charge occasionnelle, (NDT : le biberonnage). Il en résulte les cas suivants pour l'étude de faisabilité économique : - Trolleybus hybride IMC ("charge en ligne") - Scénario A = Réseau global / "Haut degré d'électrification". - Scénario B = Réseau global / "Électrification réduite". - Scénario C = Réseau réduit sur le plan exploitation (NDT : avec prise en compte de l’existence du tram) - Réseau de bus Diesel (cas de comparaison, état réel 2018) - Bus électriques - Charge en dépôt - Charge occasionnelle (biberonnage) L'étude de faisabilité économique est réalisée en combinant la structure quantitative technique et opérationnelle de l'étude. Les coûts de construction de l'infrastructure pour le trolleybus hybride IMC viennent de l'IFB (NDT : Institut für Bahntechnik Institut de technique ferroviaire) et la TU Dresden (Technische Univesität Dresden Université Technique de Dresde). Les taux de coûts spécifiques pour l'exploitation du trolleybus hybride IMC ont été déterminés et arrêtés par la TU Dresden et incorporés dans l'étude de faisabilité économique.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

187	Hinsichtlich der gewählten Kostenansätze und erforderlicher Annahmen für den Hybridoberleitungsbus wurde grundsätzlich ein Abgleich mit den relevanten früheren MKS-Studien (vgl. [128]) vorgenommen. Von der BVG wurden relevante Kostensätze und fahrzeugspezifische Daten und Annahmen aus dem Istzustand (Vergleichsfall Dieselbuseinsatz) und zum Elektrobuseinsatz (Vergleichsfall Depot- und Gelegenheitslader) zur Verfügung gestellt. Für den Elektrobuseinsatz wurden darüber hinaus von der BVG Infrastrukturkosten angenommen, um die Vergleichbarkeit der Untersuchungsfälle so gut wie möglich herzustellen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Untersuchungsfälle zum Elektrobuseinsatz nicht im Untersuchungsumfang der Machbarkeitsstudie enthalten sind und hierzu keine eigenen Berechnungen oder Simulationen erfolgt sind. Die dargestellten Elektrobus-Untersuchungs-fälle dienen dem Vergleich und der Einordnung der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Technologiealternativen. Alle Angaben und Kostenansätze zum Elektrobuseinsatz entstammen eigenen Untersuchungen der BVG. Hingewiesen wird auch darauf, dass die Bearbeitungstiefe für die Elektrobus-Untersuchungsfälle nicht der Bearbeitungstiefe der vorliegenden Machbarkeitsstudie zum Hybridoberleitungsbus entspricht, da weder eine technische Planung für die Infrastruktur noch eine Betriebssimulation der Depot- und Gelegenheitslader vorliegen.	En ce qui concerne les approches de coûts choisies et les hypothèses nécessaires pour le trolleybus hybride IMC, une comparaison de base a été faite avec les études antérieures pertinentes de MKS (cf. [128]) (NDT : il semble que ce soit une étude allemande Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) Mobilités et stratégie pour les carburants). La BVG (NDT : exploitant des transports de Berlin) a fourni les taux de coûts pertinents et les données et hypothèses spécifiques pour les véhicules de l'état actuel (cas comparatif de l'utilisation de bus Diesel) et pour l'utilisation de bus électriques (cas comparatif de la charge en dépôt et occasionnelle (biberonnage)). En outre, pour la mise en œuvre de bus électriques, les coûts d'infrastructure donnés par BVG ont été pris en compteafin de rendre les cas étudiés aussi comparables que possible. Il convient de noter que les cas d'étude pour l'utilisation de bus électriques ne sont pas inclus dans le champ de l'étude de faisabilité et qu'aucun calcul ou simulation propre n'a été effectué. Les cas d'étude d'autobus électriques présentés servent à comparer et à classer la viabilité économique des différentes alternatives technologiques. Toutes les informations et estimations de coûts pour l'utilisation de bus électriques proviennent des propres études de BVG. Il convient également de noter que la profondeur de traitement des cas d'étude des bus électriques ne correspond pas à la profondeur de traitement de la présente étude de faisabilité sur le trolleybus hybride IMC, étant donné que, ni un plan technique pour l'infrastructure, ni une simulation de fonctionnement du dépôt et des chargeurs de biberonnage ne sont disponibles.	C’est un peu dommage, car dans certains cas, le bus électrique à batteries nécessite plus de matériel en exploitation que le bus Diesel qu’il remplace (donc que des trolleybus qui, sur le plan de l’exploitation, sont identiques au bus Diesel) ce qui entraine plus de véhicules au parc, et plus d’heures de conduites

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

188	Im Folgenden werden zunächst weitere Annahmen für den Hybridoberleitungsbus dargestellt. Im Anschluss daran werden die Kosten der Vergleichsfälle (Diesel- und Elektrobus) aufgezeigt. Der Vergleich der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Untersuchungsfälle erfolgt anhand einer Life Cycle Cost - Analyse (Lebenszykluskosten). In der Life Cycle Cost - Analyse werden die relevanten Investitionen und Betriebskosten in einem festgelegten Betrachtungszeitraum berücksichtigt. Die Anwendung von Life Cycle Cost - Analysen bei der Fahrzeugbeschaffung wird auch vom Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) empfohlen [107]. Aufgrund der bisherigen Planungstiefe auf der Ebene der Machbarkeitsstudie sind die Life Cycle Cost - Analysen im vorliegenden Fall gegenüber einer umfänglichen Life Cycle Cost - Analyse, die bei einer Fahrzeugbeschaffung durchgeführt wird, deutlich vereinfacht und beschränkt sich auf die wesentlichen Investitionen und laufenden Kosten	Dans ce qui suit, d'autres hypothèses concernant le trolleybus hybride IMC sont d'abord présentées. Ensuite, les coûts des cas comparatifs (bus Diesel et électrique) sont présentés. La comparaison de l'efficacité économique des différents cas est effectuée sur la base d'une analyse du coût du cycle de vie. Dans l'analyse du coût du cycle de vie, les investissements et les coûts d'exploitation pertinents sont pris en compte sur une période donnée. L'utilisation d'analyses du coût du cycle de vie lors de l'achat de véhicules est également recommandée par l'Union des Transports Publics allemands (VDV) [107]. En raison de la profondeur de la planification antérieure au niveau de l'étude de faisabilité, les analyses du coût du cycle de vie dans le cas présent, et qui se limitent aux investissements essentiels et aux coûts de fonctionnement, sont considérablement simplifiées par rapport à une analyse complète du coût du cycle de vie.	
188	**6.4.2 Ergänzende Kennziffern Hybridoberleitungsbus** Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für den Hybridoberleitungsbus werden jeweils für die Szenarien A, B und C durchgeführt. Eine detaillierte Erläuterung der Szenarien ist im Kapitel 4.3 zu finden. Die Beschreibung der Infrastrukturkosten und der spezifischen Betriebskostensätze für den Hybridoberleitungsbus sind in den Kapiteln 6.1 - 6.3 im Einzelnen darge-stellt. Ergänzend sind im Folgenden die Platzkapazitäten der eingesetzten Fahrzeugtypen als Summe aus Sitz- und Stehplätzen aufgeführt. Mithilfe der Platzkapazität und der Fahrleistung können die angebotenen Platzkilometer je Szenario ermittelt werden.	6.4.2 Chiffres clés supplémentaires Trolleybus hybride IMC Les études de faisabilité économique du trolleybus hybride IMC sont réalisées pour les scénarios A, B et C respectivement. Une explication détaillée des scénarios se trouve au chapitre 4.3. La description des coûts d'infrastructure et les taux de coûts d'exploitation spécifiques au trolleybus hybride IMC sont présentés en détail dans les chapitres 6.1 - 6.3. En outre, les capacités des types de véhicules utilisés sont indiquées ci-dessous comme la somme des sièges et des places debout. À l'aide de la capacité et du kilométrage, il est possible de déterminer les places-kilomètres offertes par scénario.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

188

Tabelle 6-9: Platzkapazität der Fahrzeugtypen der Hybridoberleitungsbusse
Tableau 6-9 : Capacité des types de trolleybus hybrides IMC

Plätze/Bus **Places par bus**	**Einheit** **Unité**	**Hybrid-Oberleitungsbus** **Trolleybus hybride IMC**		
		Szenario A **Scénario A**	**Szenario B** **Scénario A**	**Szenario C** **Scénario A**
Doppelgelenkbus Bus biarticulé	Personen Personnes	130	130	130
Gelenkbus Bus articulé	Personen Personnes	99	99	99

188

Das Kriterium „Platzkilometer“ dient im Folgenden als zusätzliche Kenngröße zum Vergleich der verschiedenen Szenarien und Technologiealternativen miteinander.

Zu berücksichtigen ist, dass die Szenarien unterschiedlich ausgeprägte Verkehrsangebote beinhalten, z.B. ist das Hybridoberleitungsbusnetz im Szenario C deutlich kleiner, da es ergänzt zum Straßenbahnausbau konzipiert ist. Die Szenarien unterscheiden sich vom derzeitigen Busangebot generell durch die unterschiedlichen Fahrzeuggrößen der verschiedenen Fahrzeugtypen. In den Hybridoberleitungsbus-Szenarien wird das Platzangebot ausgeweitet, um weitere Fahrgaststeigerungen aufzunehmen. Mit der Kenngröße Platzkilometer bzw. mit dem zusätzlichen Ausweis der Kenngröße Kosten pro Platzkilometer soll dieser Aspekt adressiert werden.

Des Weiteren sind die angenommene Nutzungsdauer der Fahrzeuge und die Nutzungsdauer der Batterie signifikant für die Life Cycle Cost Analyse. Mithilfe der Festlegung der Nutzungszeiten kann ein Reinvestitionszeitraum festgelegt oder der Restwert des Fahrzeuges und der Batterie bestimmt werden.

Dans ce qui suit, le critère "places-kilomètres" sert de paramètre supplémentaire pour comparer les différents scénarios et alternatives technologiques entre eux.

Il faut tenir compte du fait que les scénarios contiennent des services de transport développés différemment, par exemple, le réseau de trolleybus hybride IMC dans le scénario C est sensiblement plus petit, car il est conçu pour compléter l'expansion du tram. Les scénarios se distinguent de l'offre actuelle de bus en général par la taille différente des véhicules. Dans les scénarios de trolleybus hybrides IMC, l’offre en places est augmentée pour permettre une augmentation du nombre de voyageurs. Cet aspect doit être abordé avec le paramètre places-kilomètres et avec la donnée supplémentaire du paramètre coût par place-kilomètre.

En outre, la durée de vie adoptée pour les véhicules et la durée de vie des batteries sont importantes pour l'analyse du coût sur le cycle de vie. Avec l’aide de la détermination des durées de vie, on peut définir une période de réinvestissement ou déterminer la valeur résiduelle du véhicule et de la batterie.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

<table>
<tr>
<td>189</td>
<td>Tabelle 6-10: Nutzungsdauer der Hybridoberleitungsbusse
Tableau 6-10 : Durée de vie des trolleybus hybrides IMC

<table>
<tr><th>Nutzungsdauer
Durée de vie</th><th>Einheit
Unité</th><th>Hybrid-Oberleitungsbus
Trolleybus hybride IMC</th></tr>
<tr><td>Fahrzeuge
Véhicule</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Doppelgelenkbus
Bus biarticulé</td><td>Jahre
Années</td><td>16</td></tr>
<tr><td>Gelenkbus
Bus articulé</td><td>Jahre
Années</td><td>16</td></tr>
<tr><td>Batterie</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Batterie</td><td>Jahre
Années</td><td>6</td></tr>
</table>
</td>
<td>Une durée de vie de 16 ans pour des trolleybus, c’est peu. 20 ans, voire 24 ans serait plus approprié.

De même, une durée de vie de 6 ans pour les batteries lorque le pourcentage de ligne électrifié est important, c’est sans doute faible.</td>
</tr>
<tr>
<td>189</td>
<td>Die Nutzungsdauer der Hybridoberleitungsbusse orientiert sich an Nutzungsdauern und Erfahrungswerten aus konventionellen Oberleitungsbusbetrieben. Mit 16 Jahren für die HObus-Fahrzeuge und 6 Jahren für die Batterie im HObus werden eher konservative Ansätze gewählt, um bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf die sichere Seite zu gehen. Da die Lebensdauer von Fahrzeug und Batterie beim HObus derzeit technisch so eingeschätzt wird, dass 18 Jahre (Fahrzeug) und 8 Jahre (Batterie) möglich sein sollten, werden hierzu entsprechende sensitive Betrachtungen durchgeführt (vgl. Tabelle 6-25).

Darüber hinaus wird zusätzlich eine Sensitivitätsrechnung angestellt, in der die Nutzungsdauer des HObus-Fahrzeugs auf 12 Jahre heruntergesetzt wird (entspricht 2*6 Jahre Baterielebenszeit).

Es wird zusätzlich davon ausgegangen, dass die Batterien nach ihrer angesetzten Lebensdauer von 6 Jahren einen Restwert von 25% besitzen. Dieser Ansatz ist für alle Szenarien gleich. Aufgrund der nicht prüfbaren Annahme, dass dieser Restwert auch sicher erzielt werden kann, wird zusätzlich eine Sensitivitätsberechnung durchgeführt, die den Restwert der Batterien in allen Szenarien von 25% auf 0 setzt (vgl. Tabelle 6-25).</td>
<td>La durée de vie des trolleybus hybrides IMC est basée sur la durée de vie et les valeurs empiriques de l'exploitation des trolleybus conventionnels. Avec 16 ans pour les trolleybus IMC, et 6 ans pour la batterie dans le trolleybus IMC, des approches plutôt prudentes sont choisies afin d'être du côté sans surprise dans l'analyse de rentabilité. Comme la durée de vie du véhicule et de la batterie pour le trolleybus IMC est actuellement estimée techniquement à 18 ans (véhicule) et 8 ans (batterie), des réflexions de sensibilté correspondantes sont menées (cf. Tableau 6-25).

En outre, un calcul de sensibilité est effectué dans lequel la durée de vie utile du véhicule Trolleybus IMC est réduite à 12 ans (correspond à 2*6 ans de vie de la batterie).

Il est également supposé que les batteries ont une valeur résiduelle de 25% après leur durée de vie supposée de 6 ans. Cette approche est la même pour tous les scénarios. En raison de l'hypothèse non vérifiable selon laquelle cette valeur résiduelle peut également être atteinte en toute sécurité, un calcul de sensibilité est en outre effectué, qui fixe la valeur résiduelle des batteries dans tous les scénarios de 25 % à 0 (cf. tableau 6-25).</td>
<td></td>
</tr>
</table>

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

<table>
<tr>
<td>190</td>
<td>6.4.3 Vergleichsfall Diesel- und Elektrofahrzeuge
Für die Vergleichsfälle Depot- und Gelegenheitslader wurde festgelegt, dass grundsätzlich die gleichen Fahrzeugtypen wie im Dieselbusbetrieb angenommen werden, also Standard- und Gelenkbusse. Für die heute im Einsatz befindlichen Busse des Typs Doppeldecker, der derzeit nur für den Dieselbusbetrieb verfügbar ist, wird angenommen, dass der Fahrzeugbedarf durch Elektrogelenkbusse abgedeckt wird.</td>
<td>6.4.3 Comparaison entre les véhicules Diesel et les véhicules électriques
Pour les cas comparatifs de chargeurs en dépôt et de chargeurs occasionnels (NDT : chargeurs sur la ligne pour du biberonnage), il a été décidé que les mêmes types de véhicules que dans l'exploitation des autobus Diesel, c'est-à-dire des autobus standard et articulés seraient utilisés. Pour les autobus à étage utilisés aujourd'hui, qui ne peuvent être exploités qu'au Diesel, on suppose que la demande de véhicules est couverte par des autobus électriques articulés.</td>
<td>C’est vrai qu’à l’époque de l’étude, les bus à étage électriques n’existaient pratiquement pas.</td>
</tr>
<tr>
<td>190</td>
<td>Tabelle 6-11: Fahrzeugbedarf Diesel- und Elektrobus
Tableau 6-11 : Besoins en véhicules pour les autobus Diesel et électriques
<table>
<tr><th>Fahrzeugbedarf
Besoins en véhicules</th><th>Dieselbus
Bus Diesel</th><th>Elektrobus
(Depotlader)
Bus électrique charge en dépôt</th><th>Elektrobus
(Gelegenheitslader)
Bus électrique biberonnage</th></tr>
<tr><td>Gelenkbus
Bus articulé</td><td>116</td><td>211</td><td>194</td></tr>
<tr><td>Doppeldecker
Bus à étage</td><td>61</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Standardbus
Bus standard</td><td>10</td><td>12</td><td>11</td></tr>
<tr><td>Summe
Total</td><td>187</td><td>223</td><td>205</td></tr>
</table></td>
<td>Les capacités des bus des BVG (transports de Berlin), voyageurs debout à 4/m2 :

Articulé : 45 assis, total 99
A étage MAN 2010: 83 assis, total 113
A étage VDL 2015 : 70 assis, total 86

Si on raisonne en places totales, il faut de 1,14 articulé (cas du MAN) à 0,86 articulé (cas du VDL) pour remplacer un bus à étage

Si on raisonne en places assises, il faut de 1,84 articulé (cas du MAN) à 1,56 articulé (cas du VDL) pour remplacer un bus à étage

Or dans le cas de la charge en dépôt, on a 95 bus articulés pour 61 bus à étage (1,55).

Dans le cas du biberonnage on a 78 bus articulés pour 61 bus à étage (1,28).

Cela pose question du mode de compensation (sur les places assises ou sur les places totales), et de la prise en compte ou non de véhicules électriques supplémentaires par rapport au Diesel pouvant résulter d’une moindre disponibilité.</td>
</tr>
</table>

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

190	Für die Reservehaltung ist in allen Untersuchungsfällen ein Fahrzeugbedarf von pauschal 10% berücksichtigt. Aufgrund der zusätzlich anfallenden Ladevorgänge entsteht im elektrischen Betrieb ein zusätzlicher Fahrzeugmehrbedarf. Dieser liegt entsprechend den Annahmen der BVG beim Gelegenheitslader bei 10 % und beim Depotlader bei voraussichtlich 20 %. Aufgrund der unsicheren Annahmen zur weiteren technologischen Entwicklung wird zusätzlich eine Sensitivitätsberechnung durchgeführt, die den Fahrzeugmehrbedarf für den Depotlader auf 15% reduziert (vgl. Tabelle 6-25). Insgesamt ergibt sich damit für das Spandauer Busnetz ein Fahrzeugmehrbedarf von 18 Fahrzeugen beim Gelegenheitslader und 36 Fahrzeugen beim Depotlader. Für den Depotlader wird zusätzlich unterstellt, dass ein Mehrbedarf an Fahrleistung und Einsatzzeit von rund 5% entsteht, da diese Fahrzeuge für jeden Ladevorgang wieder ins Depot zurückkehren müssen und damit mehr Fahrleistung und Personaleinsatz erforderlich ist. Im Dieselbusbetrieb wird die identische Anzahl an Fahrzeugen wie im Szenario A und B des Hybridoberleitungsbusses benötigt. Die Fahrzeuggrößen unterscheiden sich, da beim Dieselbus das Platzangebot der BVG (Stand 2018) angesetzt wird, während bei Hyb-ridoberleitungsbus eine Ausweitung der Platzkapazitäten berücksichtig ist. Die Platzkapazitäten je eingesetztem Fahrzeugtyp der Vergleichsfälle zeigt nachfolgende Tabelle. Angaben zu den Platzkapazitäten der Hybridoberleitungsbusse zeigt [Tabelle 6-9].	Pour la réserve, un besoin en véhicules de 10% est pris en compte dans tous les cas d'étude. En raison en outre des processus de charge, il y a une demande de véhicules supplémentaires pour l'exploitation électrique. Selon les hypothèses de la BVG (NDT : l'exploitant de Berlin), cela représente 10% pour la charge occasionnelle (biberonnage) et probablement 20% pour la charge au dépôt. En raison des hypothèses incertaines concernant la poursuite du développement technologique, un calcul de sensibilité est également effectué, qui réduit la demande de véhicules supplémentaires pour la charge au dépôt à 15 % (cf. tableau 6-25). Au total, il en résulte une demande de véhicules supplémentaires pour le réseau de bus de Spandau de 18 véhicules pour la charge occasionnelle (biberonnage) et de 36 véhicules pour la charge au dépôt. Pour la charge au dépôt, on suppose également qu'il y a une demande supplémentaire de kilométrage et de temps de fonctionnement d'environ 5 %, car ces véhicules doivent retourner au dépôt pour chaque processus de chargement et nécessitent donc plus de kilométrage et de personnel. En cas d'exploitation avec des bus Diesel, il faut un nombre identique de véhicules que dans les scénarios A et B du trolleybus hybride IMC. Les tailles des véhicules diffèrent, car la capacité offerte par la BVG (NDT : l'exploitant des transports de Berlin) (état 2018) est utilisée pour le bus Diesel, tandis qu'une augmentation des capacités est prise en compte pour le trolleybus hybride IMC. Le tableau suivant montre les capacités par type de véhicule, utilisées dans les cas de comparaison. Les informations sur les capacités des trolleybus hybrides IMC sont présentées dans le [Tableau 6-9].	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

191

Tabelle 6-12: Platzkapazität Diesel- und Elektrobus
Tableau 6-12 : Capacité des autobus Diesel et électriques

Plätze/Bus **Places/bus**	**Einheit** **Unité**	**Dieselbus** **Bus Diesel**	**Elektrobus (Depotlader)** **Bus électrique (charge au dépôt)**	**Elektrobus (Gelegenheitslader)** **Bus électrique (biberonnage)**
Gelenkbus Bus articulé	Personen Personnes	99	92	99
Doppeldecker Bus à étage	Personen Personnes	113		
Standardbus Bus standard	Personen Personnes	70	65	70

191	Die Annahmen zur Nutzungsdauer der einzelnen Fahrzeugtypen der Vergleichsfälle ist Tabelle 6-12 zu entnehmen. Die Lebenszeit der Dieselbusse entspricht den Erfahrungen der BVG aus dem heutigen Betrieb. Informationen zu den Nutzungsdauern der Hybridoberleitungsbusse sind in Tabelle 6-10 enthalten. Die Annahme zur Nutzungsdauer der HObusse orientiert sich an den Erfahrungen aus konventionellem O-Bus-Betrieb und liegt bei 16 Jahren. Bei den Elektrobussen geht die BVG von einer Nutzungsdauer von 12 Jahren aus. Die Batterielebenszeit wird bei allen Elektrobustypen (Depotlader, Gelegenheitslader, HOBus) einheitlich mit 6 Jahren angenommen.	Les hypothèses sur la durée de vie des différents types de véhicules des cas de comparaison sont présentées dans le tableau 6-12. La durée de vie des bus Diesel correspond à l'expérience de BVG (NDT exploitant des transports de Berlin) dans le cadre de ses activités actuelles. Les informations sur la durée de vie utile des trolleybus hybrides IMC sont fournies dans le tableau 6-10. L'hypothèse de la durée de vie des trolleybus est basée sur l'expérience de l'exploitation des trolleybus conventionnels et est de 16 ans. BVG prend une durée de vie de 12 ans pour les bus électriques. La durée de vie de la batterie est supposée être de 6 ans pour tous les types de bus électriques (charge au dépôt, charge occasionnelle (biberonnage), trolleybus IMC).	On peut penser que les batteries des trolleybus IMC, moins sollicitées que celles des bus électriques, devraient avoir une durée plus longue

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

191

Tabelle 6-13: Nutzungsdauer Diesel- und Elektrobus
Tableau 6-13 : Durée de vie des autobus Diesel et électriques

Nutzungsdauer Durée de vie	**Einheit Unité**	**Dieselbus Bus Diesel**	**Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)**	**Elektrobus (Gelegenheitslader) Bus électrique (charge occasionnelle)**
Fahrzeuge Véhicle				
Gelenkbus Bus articulé	Jahre Années	10	12	12
Doppeldecker Bus à étage	Jahre Années	12	12	12
Standardbus Bus standard	Jahre Années	10	12	12
Batterie				
Batterie	Jahre	6	6	6

191

6.4.3.1 Investitionskosten
Für die Untersuchungsfälle Dieselbus und Elektrobus sind die Investitionen in der Tabelle 6-14 und Tabelle 6-15 aufgeführt. Beim Dieselbus fallen keine Infrastrukturinvestitionen an.

Für Elektrobusse sind Ladeeinrichtungen vorzusehen. Die Kosten für Ladeeinrichtungen belaufen sich beim Depotlader auf 65 TEUR pro Ladesäule. Es wird angenommen, dass pro Depotlader 0,5 Ladesäulen benötigt werden. Demgegenüber liegt der Bedarf an High Power Charger für Gelegenheitslader bei 0,2 Stück pro Fahrzeug. Die Ladeinfrastruktur für High Power Charger wird mit 541 TEUR pro Stück angesetzt.

Der Vergleichsfall Depotlader beinhaltet Kosten in Höhe von 5 Mio. Euro zur Ertüchtigung des Verteilernetzes, im Vergleichsfall Gelegenheitslader werden dafür Kosten in Höhe von 4 Mio. Euro angenommen (subsummiert unter Position Ladeeinrichtungen; Angaben BVG).

6.4.3.1 Coûts d'investissement
Pour les cas d'étude autobus Diesel et autobus électriques, les investissements sont énumérés dans les tableaux 6-14 et 6-15. Aucun investissement en infrastructure n'est nécessaire pour les autobus Diesel.

Des installations de recharge doivent être prévues pour les bus électriques. Les coûts des installations de charge pour les chargeurs de dépôt s'élèvent à 65.000 EUR par point de charge. On suppose que 0,5 mat de charge est nécessaire par chargeur de dépôt. En revanche, la demande de chargeurs de grande puissance pour les chargeurs occasionnels est de 0,2 par véhicule. L'infrastructure de charge pour les chargeurs à grande puissance est estimée à 541.000 euros par unité.

Le cas comparatif des chargeurs de dépôt comprend des coûts de 5 millions d'euros pour la modernisation du réseau de distribution ; dans le cas comparatif des chargeurs occasionnels, on suppose des coûts de 4 millions d'euros (inclus dans le poste installations de charge ; données BVG (NDT : les transports de Berlin).

Aucun investissement pour les bus Diesel : il y a quand même les cuves et les pompes

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

192

Tabelle 6-14: Investitionen Dieselbus
Tableau 6-14 : Investissements bus Diesel

Kenngröße **Valeurs**		**Dieselbus** **Bus Diesel**			
Investition **Investissement**	**Einheit** **Unité**	**Standardbus** **Bus standard**	**Gelenkbus** **Bus articulé**	**Doppeldecker** **Bus à étage**	**Summe** **Total**
Neupreis je Fahrzeug **Prix à neuf par véhicule**	**TEUR** **Milliers d'euros**	**270**	**350**	**450**	
Summe Fahrzeuge **Total véhicules**	**TEUR** **Milliers d'euros**	**2.700**	**40.600**	**27.450**	**70.750**
Summe Investition **Total investissements**	**TEUR** **Milliers d'euros**	**2.700**	**40.600**	**27.450**	**70.750**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

192 Tabelle 6-15: Investitionen Elektrobus
Tableau 6-15: Investissements bus électriques

		Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)			Elektrobus (Gelegenheitslader) Bus électrique (charge occasionnelle)		
Kenngröße Investition Valeurs des investissements	**Einheit Unité**	**Standard-bus Bus standard**	**Gelenkbus Bus articulé**	**Summe Total**	**Standard-bus Bus standard**	**Gelenkbus Bus articulé**	**Summe Total**
Neupreis je Fahrzeug Prix à neuf par véhicule	TEUR 1000 EUR	428	588		421	580	
Neupreis je Batterie Prix à neuf par batterie	TEUR 1000 EUR	197	246		203	253	
Neupreis je Fahrzeug inkl. Batterie Prix à neuf par véhicule incluant les batteries	TEUR 1000 EUR	625	834		624	833	
Summe Fahrzeuge Total véhicules	TEUR 1000 EUR	**5.136**	**124.068**	**129.204**	**4.631**	**112.520**	**117.151**
Summe Batterien Total batteries	TEUR 1000 EUR	**2.364**	**51.906**	**54.270**	**2.233**	**49.082**	**51.315**
Summe Fahrzeuge inkl. Batterien Total véhicules incluant les batteries	TEUR 1000 EUR	**7.500**	**175.974**	**183.474**	**6.864**	**161.602**	**168.466**
Summe Ladeeinrichtungen Total des installations de charge	TEUR 1000 EUR			**12.248**			**26.181**
Grunderwerb Achats de terrains	TEUR 1000 EUR						**135**
Planung Planification	TEUR 1000 EUR			**1.470**			**3.158**
Unvorhergesehenes Imprévus	TEUR 1000 EUR			**245**			**526**
Summe Investitionen Total des investissements	TEUR 1000 EUR	**7.500**	**175.974**	**197.436**	**6.864**	**161.602**	**198.466**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

192	Im Vergleich zu den beiden betrachteten Elektrobusvarianten weist der Dieselbus die deutlich geringeren Investitionen auf. Dies liegt an den nicht benötigten Infrastrukturinvestitionen. Weitere Gründe sind die geringeren spezifischen Fahrzeugpreise sowie der geringere Fahrzeugbedarf. Für den Depot- und Gelegenheitslader ergeben sich Investitionskosten in gleicher Größenordnung. Der hohe Fahrzeugmehrbedarf wird beim Depotlader durch die geringeren Kosten für die Ladeinfrastruktur wieder ausgeglichen. Eine Übersicht der Investitionen der Hybridoberleitungsbus-Varianten zeigt Tabelle 6-8 in Kapitel 6.3.1 Die Investitionen der Vergleichsvarianten sind in der Summe geringer als die Investitionen beim Hybridoberleitungsbus, insbesondere aufgrund der geringeren Infrastrukturinvestitionen.	Par rapport aux deux variantes de bus électriques considérées, le bus Diesel présente l'investissement le plus faible. Cela est dû aux investissements en infrastructures qui ne sont pas nécessaires. D'autres raisons sont les prix plus bas des véhicules et le besoin moins élevé en véhicules. Les coûts d'investissement pour les chargeurs de dépôt et les chargeurs occasionnels sont du même ordre de grandeur. La forte demande de véhicules supplémentaires pour la charge au dépôt est compensée par les coûts plus faibles de l'infrastructure de charge. Une vue d'ensemble des investissements des variantes de trolleybus hybrides IMC est présentée dans le tableau 6-8 du chapitre 6.3.1 Les investissements des variantes de comparaison sont inférieurs au total à ceux du trolleybus hybride IMC, notamment en raison des investissements d'infrastructure plus faibles.	
193	**6.4.3.2 Jährlich anfallende Kosten** Die jährlichen Kosten für den Dieselbus und die beiden Elektrobusvarianten gliedern sich in Energie- und Unterhaltungskosten sowie Kosten für das Fahrpersonal und Fahrzeugversicherungen. Die Kosten für Fahrzeugversicherung werden in allen Untersuchungsfällen einheitlich mit pauschal 3.500 Euro pro Fahrzeug angesetzt.	6.4.3.2 Coûts annuels attendus Les coûts annuels pour le bus Diesel et les deux variantes de bus électriques sont divisés en coûts d'énergie et d'entretien et en coûts pour le personnel de conduite et l'assurance du véhicule. Les coûts de l'assurance des véhicules sont fixés à un taux forfaitaire uniforme de 3.500 euros par véhicule dans tous les cas d'étude.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

193

Tabelle 6-16: Jährliche Kosten Betrieb – Dieselbus
Tableau 6-16 : Coûts annuels d'exploitation - bus Diesel

		Dieselbus Bus Diesel			
Jährliche Kosten Betrieb Coûts annuels d'exploitation	**Einheit Unité**	**Standardbus Bus standard**	**Gelenkbus Bus articulé**	**Doppeldecker Bus à étage**	**Summe Total**
Energieverbrauch Consommation d'énergie	l/100 km, kWh/km	40	50	60	
Energiepreis Prix de l'énergie	EUR/l, EUR/kWh	0,9	0,9	0,9	
Energiekosten Coût de l'énergie	EUR/km	0,36	0,45	0,54	
Energiekosten Coût de l'énergie	TEUR/a 1000 EUR/an	298	4.306	2.726	**7.331**
Unterhaltungskosten Fahrzeuge Coût d'entretien des véhicules	EUR/km	0,4	0,5	0,6	
Unterhaltungskosten Fahrzeuge Coût d'entretien des véhicules	TEUR/a 1000 EUR/an	331	4.785	3.029	**8.145**
Fahrpersonal Personnel de conduite	TEUR/a 1000 EUR/an	858	12.693	5.950	**19.500**
Sonstiges (Versicherung) Divers (assurances)	TEUR/a 1000 EUR/an	35	406	214	**655**
Summe laufende jährliche Kosten Betrieb Total des coûts annuels d'exploitation	TEUR/a 1000 EUR/an	**1522**	**22.190**	**11.919**	**35.631**

193

Für den Dieselbus fallen demnach rund 35,6 Mio. Euro Betriebskosten an.

Beim Depot- und Gelegenheitslader fallen zusätzlich jährliche Unterhaltungskosten der Ladeeinrichtungen an. Diese belaufen sich auf rund 2% der Erstinvestition für die Infrastruktur.

Dieser Wert wurde in Analogie zu den Unterhaltungssätzen für elektrische Anlagen aus der Standardisierten Bewertung [103] festgelegt.

En conséquence, le bus diesel entraîne des coûts d'exploitation d'environ 35,6 millions d'euros.

Les chargeurs au dépôt et occasionnels supportent également des coûts annuels d'entretien des installations de charge. Ils s'élèvent à environ 2 % de l'investissement initial pour l'infrastructure.

Cette valeur a été déterminée par analogie avec les taux de maintenance des installations électriques de l'évaluation standardisée [103].

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

194

Tabelle 6-17: Jährliche Kosten Betrieb & Infrastruktur – Elektrobus
Tableau 6-17 : Coûts annuels d'exploitation et d'infrastructure - autobus électrique

		Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)			**Elektrobus (Depotlader) (NDT erreur sur le titre allemand) Bus électrique (charge occasionnelle)**		
	Einheit Unité	**Standard-bus Bus standard**	**Gelenkbus Bus articulé**	**Summe Total**	**Standard-bus Bus standard**	**Gelenkbus Bus articulé**	**Summe Total**
Jährliche Kosten Infrastruktur Coûts annuels infrastructure							
Unterhaltung Ladeeinrichtung Entretien des installations de charge	TEUR/a 1000 EUR/an			**145**			**444**
Jährliche Kosten Betrieb Coûts annuels d'exploitation							
Energieverbrauch Consommation d'énergie	l/100 km, kWh/km	2,10	2,63		2,10	2,63	
Energiepreis Prix de l'énergie	EUR/l, EUR/kWh	0,15	0,15		0,15	0,15	
Energiekosten Coût de l'énergie	EUR/km	0,32	0,39		0,32	0,39	
Energiekosten Coût de l'énergie	TEUR/a 1000 EUR/an	274	6.055	6.329	261	5.767	6.028
Unterhaltungskosten Fahrzeuge Coût d'entretien des véhicules	EUR/km	0,40	0,50		0,40	0,50	
Unterhaltungskosten Fahrzeuge Coût d'entretien des véhicules	TEUR/a 1000 EUR/an	348	7.675	8.022	331	7.309	7.640
Fahrpersonal Personnel de conduite	TEUR/a 1000 EUR/an	901	19.574	20.475	901	19.574	20.475
Sonstiges (Versicherung) Divers (assurances)	TEUR/a 1000 EUR/an	42	739	781	39	679	718
Summe laufende jährliche Kosten Betrieb Total des coûts annuels d'exploitation	TEUR/a 1000 EUR/an	**1.564**	**34.043**	**35.607**	**1531**	**33.330**	**34.861**
Jährliche Kosten Infrastruktur und Betrieb Coûts annuels Infrastructure et Exploitation	TEUR/a 1000 EUR/an			**35.752**			**35.304**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

194	Bei den jährlich anfallenden Kosten zeigen sich leichte Kostenvorteile beim Gelegenheitslader gegenüber dem Depotlader. Insgesamt ergeben sich für den Depotlader jährliche Kosten in Höhe von 35,75 Mio. Euro und 35,3 Mio. Euro für den Gelegenheitslader. Eine Übersicht der jährlichen Kosten der Hybridoberleitungsbus-Varianten zeigt nachfolgende Tabelle. Szenario A liegt danach bei 35,4 Mio. Euro und Szenario B bei 35,3 Mio. Euro. Die Unterschiede sind demnach sehr gering und sind allein auf die unterschiedlichen Unterhaltungskosten für die Infrastruktur zurückzuführen. Aufgrund des kleineren zu elektrifizierenden Netzes ist dies bei Szenario B günstiger. Szenario C ist aufgrund des kleineren Liniennetzes nicht direkt vergleichbar. Bei einem Vergleich der jährlichen Kosten ist ferner zu berücksichtigen, dass beim Hybridoberleitungsbus größerer Fahrzeuge eingesetzt werden.	En termes de coûts annuels, la charge occasionnelle présente de légers avantages en termes de coûts par rapport à la charge au dépôt. Globalement, les coûts annuels s'élèvent à 35,75 millions d'euros pour la charge au dépôt et à 35,3 millions d'euros pour la charge occasionnelle. Le tableau suivant donne un aperçu des coûts annuels des variantes de trolleybus hybrides IMC. Le scénario A est à 35,4 millions d'euros et le scénario B à 35,3 millions d'euros. Les différences sont donc très faibles et sont uniquement dues aux différents coûts d'entretien des infrastructures. En raison du plus petit réseau à électrifier, cette situation est plus favorable dans le scénario B. Le scénario C n'est pas directement comparable en raison du réseau de lignes plus petit. En comparant les coûts annuels, il faut également tenir compte du fait que le trolleybus hybride IMC utilise des véhicules plus grands.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

195

Tabelle 6-18: Jährliche Kosten Betrieb & Infrastruktur – Hybridoberleitungsbus
Tableau 6-18 : Coûts annuels d'exploitation et d'infrastructure - Trolleybus hybride IMC

		HObus Trolleybus hybride IMC		
	Einheit Unité	**Szenario A Scénario A**	**Szenario B Scénario B**	**Szenario C reduziertes Netz Scénario C Réseau réduit**
Jährliche Kosten Infrastruktur Coûts annuels infrastructure				
Unterhaltung Infrastruktur Entretien des infrastructures	TEUR/a 1000 EUR/an	**1.146**	**995**	**762**
Jährliche Kosten Betrieb Coûts annuels d'exploitation				
Energieverbrauch Consommation d'énergie	MWh/a MWh/an	40.610	40.610	26.325
Energiepreis Prix de l'énergie	EUR/kWh	0,15	0,15	0,15
Energiekosten Coût de l'énergie	TEUR/a 1000 EUR/an	6.091	6.091	3.949
Unterhaltungskosten Fahrzeuge Coût d'entretien des véhicules				
Leistung Gelenkbus Prestation bus articulés	1000 km/a 1000 km/an	10.245	10.245	10.245
Leistung Doppelgelenkbus Prestation bus biarticulés	1000 km/a 1000 km/an	5.201	5.201	1.263
Unterhaltung Gelenkbus Entretien bus articulés	EUR/km	0,5	0,5	0,5
Unterhaltung Doppelgelenkbus Entretien bus biarticulés	EUR/km	0,56	0,56	0,56
Unterhaltungskosten Fahrzeuge Coût d'entretien des véhicule	TEUR/a 1000 EUR/an	8.035	8.035	5.830

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

195

Tabelle 6-18: Jährliche Kosten Betrieb & Infrastruktur – Hybridoberleitungsbus
Tableau 6-18 : Coûts annuels d'exploitation et d'infrastructure - Trolleybus hybride IMC
Suite

		HObus Trolleybus hybride IMC		
	Einheit Unité	**Szenario A Scénario A**	**Szenario B Scénario B**	**Szenario C reduziertes Netz Scénario C Réseau réduit**
Fahrpersonal Personnel de conduite	TEUR/a 1000 EUR/an			
Einsatzzeit aus Modell Temps de conduite tiré du modèle	1000 h/a 1000 h/an	780	780	553
Fahrpersonal Personnel de conduite	TEUR/a 1000 EUR/an	19.500	19.500	13.815
Sonstiges Divers				
Sonstiges (Versicherung) Divers (assurances)	TEUR/a 1000 EUR/an	655	655	452
Summe laufende jährliche Kosten Betrieb Total des coûts annuels d'exploitation	TEUR/a 1000 EUR/an	**34.281**	**34.281**	**24.045**
Jährliche Kosten Infrastruktur und Betrieb Coûts annuels Infrastructure et Exploitation	TEUR/a 1000 EUR/an	**35.427**	**35.276**	**24.807**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

196	**6.4.4 Life Cycle Cost Analyse** Anfallende Kosten für die Entwicklung, Produktion und Entsorgung eines Produktes über den gesamten Lebenszyklus hinweg werden als Life Cycle Costs bezeichnet. In der Life Cycle Cost - Analyse werden die relevanten Investitionen und Betriebskosten in einem festgelegten Betrachtungszeitraum berücksichtigt. [107] In der vorliegenden Betrachtung umfassen die Life Cycle Costs die Investitions- und Instandhaltungs- sowie die Betriebskosten über einen festgesetzten Nutzungszeitraum. Für den Hybridoberleitungsbus sowie die Technologiealternativen werden zunächst die Investitionen gegenübergestellt. Danach erfolgt die Darstellung der jährlich anfallenden Kosten. Anschließend werden der Kapitalwert und die Annuität berechnet. Kapitalwert und Annuität sind Kennzahlen der dynamischen Investitionsrechnung. Das Szenario C wird im folgenden Kapitel in separaten Tabellen dargestellt, da in diesem Szenario ein Teil des Netzes für den Straßenbahnbetrieb ausgebaut wird und das Netz des Hybridoberleitungsbusses deshalb angepasst und kleiner ist. Bei Szenario C ist zudem zu beachten, dass zu den aufgeführten Kosten die Kosten des Straßenbahnbaus und -betriebs hinzukommen.	6.4.4 Analyse du coût du cycle de vie Les coûts engagés pour le développement, la production et l'élimination d'un produit tout au long du cycle de vie total sont appelés coûts du cycle de vie. Dans l'analyse du coût du cycle de vie, les investissements et les coûts d'exploitation concernés sont pris en compte sur une période donnée. [107] Dans la présente analyse, les coûts du cycle de vie comprennent les coûts d'investissement et d'entretien ainsi que les coûts d'exploitation sur une période d'utilisation déterminée. Pour le trolleybus hybride IMC et les alternatives technologiques, les investissements sont d'abord comparés. S'ensuit la présentation des coûts annuels. On calcule ensuite la valeur du capital et l'annuité. La valeur du capital et l'annuité sont des chiffres clés du calcul du compte dynamique d'investissement. Le scénario C est présenté dans le châpitre suivant dans des tableaux séparés, car dans ce scénario, une partie du réseau sera tranformé pour l'exploitation par tramway et le réseau du trolleybus hybride IMC est donc adapté et plus petit. Dans le scénario C, il convient également de noter que les coûts de construction et d'exploitation du tramway s'ajoutent aux coûts mentionnés.	
196	**6.4.4.1 Investitionskosten** Wichtiger Bestandteil des Kostenvergleichs sind die relevanten Fahrweginvestitionen.	6.4.4.1 Coûts d'investissement Un élément important de la comparaison des coûts est l'investissement dans l'infrastructure correspondante.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

196

Tabelle 6-19: LCC-Analyse – Investitionskosten

Tableau 6-19: Analyse CCV Coût du Cycle de Vie – Coûts d'investissement

	Einheit Unité	Dieselbus Bus Diesel	Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)	Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle	HObus Trolleybus IMC	HObus Trolleybus IMC
					Szenario A	**Szenario B**
Investitionskosten Coûts d'investissement						
Fahrzeuge Véhicules						
Investitionskosten Fahrzeuge (o. Batterie) Coûts investissement véhicules (sans battteries)	TEUR 1000 EUR	70.750	129.204	117.151	174.680	174.680
Investitionskosten Batterien Coûts d'investissement ses batteries	TEUR 1000 EUR		54.270	51.315	13.464	13.464
Summe Investition Fahrzeuge Total investissements véhicules	**TEUR 1000 EUR**	**70.750**	**183.474**	**168.466**	**188.144**	**188.144**
Investition Fahrzeug/ Platz-kilometer Investissements véhicules/Place-kilomètre	**ct/Platz-km** Cent/place-km	**4,49**	**12,49**	**11,19**	**11,13**	**11,13**
Infrastruktur Infrastructure						
Fahrleitung inkl. zus. Fahrleitungs-material Ligne aérienne y compris matériel additionnel	TEUR 1000 EUR				26.279	22.314
Masten und Fundamente Poteaux et massifs	TEUR 1000 EUR				39.940	29.939
Unterwerke Sous-stations	TEUR 1000 EUR				49.136	49.871
Ladeeinrichtungen Installations de charge	TEUR 1000 EUR		12.248	26.181	1.416	1.705
Grunderwerb/ Entschädigung Acquisition de terrain/Indemnisations	TEUR 1000 EUR			135	3.493	2.599
Unvorhergesehenes Imprévus	TEUR 1000 EUR		245	526	2.405	2.129
Planung Planification	TEUR 1000 EUR		1.470	3.158	14.432	12.771
Summe Investition Infrastruktur Total investissements infrastructure	**TEUR 1000 EUR**		**13.962**	**30.000**	**137.100**	**121.328**
Summe Investitionen Total investissements	**TEUR 1000 EUR**	**70.750**	**197.436**	**198.466**	**325.244**	**309.472**

Attention :
Le coût sur le cycle de vie donné est celui sur le cycle de vie du véhicule consdéré soit (Tab 6-10 et 6-13)

10 ans pour les bus Diesel (12 ans pour les bus à étage)
12 ans pour les bus électiques
16 ans pour les trolleybus

Les investissements pour les véhicules ne doivent pas être comparés entre eux

De même les investisssements pour les infratructures ne doivent pas être comparés entre eux, car il y a des disparités très grandes sur les durées de vie des différents composants

Des précisions sur le sujet sont données par la suite.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

197	Im Vergleich der Antriebstechnologien weisen die beiden Szenarien des Batterie-Oberleitungsbusses die höchsten Investitionen auf. Dies liegt vor allem an der für den Betrieb von Batterie-Oberleitungsbussen benötigten Infrastruktur sowie an den hohen Fahrzeugpreisen. Im Vergleich besitzt der Dieselbus die geringsten Investitionen, da für diese Antriebstechnologie keine zusätzliche Infrastruktur benötigt wird. Ein weiterer Grund ist der geringere Fahrzeugpreis. Der Elektrobus besitzt ähnlich hohe Fahrzeuginvestitionen wie der Hybridoberleitungsbus, hingegen geringere Infrastrukturinvestitionen, da nur Ladeeinrichtungen errichtet werden müssen. Die Angaben zu den Investitionen geben einen Überblick für die Erstinvestitionen (Infrastruktur und Fahrzeuge) der Szenarien und der Vergleichsfälle. Ein reiner Vergleich der Investitionen erlaubt noch keine Aussage zur Wirtschaftlichkeit. Beim Vergleich der Investitionen wird nicht berücksichtigt, dass die Fahrzeuge der Szenarien und Vergleichsfälle teilweise unterschiedliche Nutzungsdauern haben. Darüber hinaus ist nicht berücksichtigt, dass die Nutzungsdauer der Infrastruktur deutlich länger ist als die Nutzungsdauer der Fahrzeuge.	Si l'on compare les technologies de propulsion, les deux scénarios de trolleybus à batteries présentent les investissements les plus élevés. Cela est principalement dû à l'infrastructure nécessaire à l'exploitation des trolleybus à batteries et au prix élevé des véhicules. En comparaison, le bus Diesel présente les investissements les plus faibles, car aucune infrastructure supplémentaire n'est nécessaire pour cette technologie de propulsion. Une autre raison est le prix plus bas du véhicule. L'investissement dans le véhicule du bus électrique est aussi élevé que celui du trolleybus hybride, mais l'investissement dans l'infrastructure est moindre, car seules des installations de recharge doivent être construites. Les informations sur les investissements donnent un aperçu sur les investissements initiaux (infrastructures et véhicules) des scénarios et sur les comparaisons. Une simple comparaison des investissements ne permet pas encore de se prononcer sur l'efficacité économique. La comparaison des investissements ne tient pas compte du fait que les véhicules des scénarios et des cas de comparaison ont des durées de vie différentes. En outre, il n'est pas tenu compte du fait que la durée de vie utile de l'infrastructure est sensiblement plus longue que celle des véhicules.	
198	**6.4.4.2 Jährlich anfallende Kosten** Neben den Investitionen wird die Wirtschaftlichkeit der Szenarien und der Vergleichsfälle durch die jährlich anfallenden Kosten beeinflusst. Die jährlichen Kosten beinhalten die Unterhaltungskosten für die Infrastruktur und die Betriebskosten.	6.4.4.2 Coûts encourus annuellement Outre les investissements, la viabilité économique des scénarios et des cas de comparaison est influencée par les coûts annuels correspondants. Les coûts annuels comprennent les coûts d'entretien de l'infrastructure et les coûts d'exploitation.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

199

Tabelle 6-21: LCC-Analyse - jährlich anfallende Kosten
Tableau 6-21 : Analyse LCC - coûts encourus annuellement

	Einheit Unité	Dieselbus Bus Diesel	Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)	Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle	HObus Trolleybus IMC	
					Szenario A	Szenario B
jährlich anfallende Kosten Coûts supprtés annuellement						
Unterhaltung Infrastruktur **Entretien Infrastructure**						
Fahrleitung Ligne aérienne	TEUR/a 1000 EUR/an				639	574
Unterwerke Sous-stations	TEUR/a 1000 EUR/an				175	152
Ladestationen Stations de charge	TEUR/a 1000 EUR/an		145	444	56	62
Masten Poteaux	TEUR/a 1000 EUR/an				276	207
Summe jährliche Kosten Infrastruktur **Total des coûts annuels infrastructure**	TEUR/a 1000 EUR/an		**145**	**444**	**1.146**	**995**
Jährliche Kosten Infrastruktur je Platz-km **Coûts annuels d'infrastructure par place-km**	**ct/ Platz-km** **Cent/Place-km**		**0,0099**	**0,0295**	**0,0678**	**0,0589**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

199

Tabelle 6-21: LCC-Analyse - jährlich anfallende Kosten
Tableau 6-21 : Analyse LCC - coûts encourus annuellement
(Suite)

	Einheit Unité	Dieselbus Bus Diesel	Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)	Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle	HObus Trolleybus IMC	
					Szenario A	Szenario B
Betriebskosten Coûts d'exploitation						
Energiekosten Coût de l'énergie	TEUR/a 1000 EUR/an	7.331	6.329	6.028	6.091	6.091
Energiekosten/ Platz-km Coût de l'énergie par Place-km	ct/ Platz-km Cent/Place-km	0,4652	0,4310	0,4005	0,3604	0,3604
Unterhaltungskosten Fahrzeuge Coût de l'entretien des véhicules	TEUR/a 1000 EUR/an	8.145	8.022	7.640	8.035	8.035
Unterhaltungskosten Fahrzeuge Coût de l'entretien des véhicules	ct/ Platz-km Cent/Place-km	0,517	0,546	0,508	0,475	0,475
Fahrpersonal Personnel de conduite	TEUR/a 1000 EUR/an	19.500	20.475	20.475	19.500	19.500
Fahrpersonal/ Platz-km Personnel de conduite / Place-km	ct/ Platz-km Cent/Place-km	1,237	1,394	1,360	1,154	1,154
Sonstiges (Versicherung) Divers (Assurances)	TEUR/a 1000 EUR/an	655	781	718	655	655
Summe jährliche Betriebskosten Total des coûts annuels d'exploitation	TEUR/a 1000 EUR/an	**35.631**	**35.607**	**34.861**	**34.281**	**34.281**
Jährliche Betriebs-kosten je Platz-km Total des coûts annuels d'exploitation par Place-km	ct/ Platz-km Cent/Place-km	**2,2610**	**2,4245**	**2,3161**	**2,0280**	**2,0280**
Summe jährlich anfallende Kosten Total des coûts annuels correspondants	TEUR/a 1000 EUR/an	**35.631**	**35.752**	**35.304**	**35.427**	**35.276**
Summe jährlich anfallende Kosten Total des coûts annuels correspondants	ct/ Platz-km Cent/Place-km	**2,2610**	**2,4344**	**2,3455**	**2,0957**	**2,0868**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

200	Die jährlich anfallenden Kosten sind bei allen Antriebstechnologien in der Summe in einer ähnlichen Größenordnung, obwohl sie sich unterschiedlich zusammensetzten. Bei den Hybridoberleitungsbusse fallen höhere Kosten für die Unterhaltung der Infrastruktur an als bei den Elektrobussen. Bei den Dieselbussen sind keine zusätzlichen Kosten der Infrastruktur berücksichtigt. Bei den laufenden Kosten des Betriebs unterscheiden sich die Szenarien und Vergleichsfälle vor allem bei den Energiekosten. Diese sind bei den elektrisch betriebenen Fahrzeugen niedriger als beim Dieselbus. Die Unterschiede bei den Unterhaltungskosten der Fahrzeuge und der sonstigen Kosten (Versicherung) unterscheiden sich nicht deutlich. Der größte Anteil der jährlichen Kosten resultiert aus dem Fahrpersonal. Da in allen Szenarien und Varianten das gleiche Fahrtenangebot unterstellt wird, sind die Kosten bei den Hybridoberleitungsbussen und dem Dieselbus vergleichbar. Bei den Elektrobussen (Depot- und Gelegenheitslader) sind die Personalkosten höher, da hier der Personalaufwand aufgrund der Nachladezeiten der Batterien steigt. Bei einem direkten Vergleich der Summen der jährlichen Kosten ist zu berücksichtigen, dass bei den Szenarien der Hybridoberleitungsbusse deutlich größere Platzkapazitäten angeboten werden. Erst im Vergleich der jährlichen Kosten pro Platzkilometer zeigt sich deshalb, dass das Szenario B der Hybridoberleitungsbusse bezogen auf den Platzkilometer am kostengünstigsten ist. Der Dieselbus ist im Vergleich zu den Hybridoberleitungsbussen pro Platzkilometer teurer. Dies liegt vor allem an der geringeren Platzkapazität. Zudem fallen beim Dieselbus die höchsten Energiekosten an. Gegenüber dem Elektrobus ist der Dieselbus auch pro Platzkilometer etwas günstiger. Da das Szenario A mit hohem Elektrifizierungsgrad gegenüber dem Szenario B mit reduziertem Elektrifizierungsgrad in keiner Hinsicht einen Vorteil aufweist, auch nicht signifikant beim Energieverbrauch, ist Szenario B dem Szenario A grundsätzlich vorzuziehen.	Les coûts annuels de toutes les technologies de propulsion sont au total d'un ordre de grandeur similaire, bien qu'ils soient constitués différemment. Les trolleybus hybrides entraînent des coûts d'entretien de l'infrastructure plus élevés que les autobus électriques. Pour les bus Diesel, aucun coût supplémentaire d'infrastructure n'est pris en compte. En ce qui concerne les coûts d'exploitation, les scénarios et les cas de comparaison se distinguent principalement par les coûts énergétiques. Ceux-ci sont plus faibles pour les véhicules à propulsion électrique que pour le bus Diesel. Les différences dans les coûts d'entretien des véhicules et les autres coûts (assurance) ne sont pas significatives. La plus grande part des coûts annuels provient du personnel de conduite. Étant donné que le même nombre de circulations est supposé dans tous les scénarios et variantes, les coûts des trolleybus hybrides et du bus Diesel sont comparables. Les coûts de personnel sont plus élevés pour les bus électriques (dépôt et charge occasionnelle), car les coûts de personnel augmentent ici en raison des temps de recharge des batteries. Dans une comparaison directe des totaux des coûts annuels, il faut tenir compte du fait que les capacités en places sont nettement supérieures dans les scénarios de trolleybus hybrides. Ce n'est que dans la comparaison des coûts annuels par siège kilomètre qu'il apparaît donc que le scénario B des trolleybus hybrides est le plus économique à la place-kilomètre kilomètre. Le bus Diesel est plus cher par place-kilomètre que les trolleybus hybrides. Cela s'explique principalement par la capacité plus faible en places. En outre, le bus Diesel présente les coûts énergétiques les plus élevés. Par rapport au bus électrique, le bus Diesel est également un peu moins cher à la place-kilomètre. Étant donné que le scénario A, avec un degré d'électrification élevé, ne présente sur aucun point de vue, aucun avantage par rapport au scénario B avec un degré d'électrification réduit, même pas de manière significative en termes de consommation d'énergie, le scénario B doit être en principe préféré au scénario A.	Sur la préférence pour le scénario B, je ne suis pas convaincu car on n'a pas tenu compte d'un coût de batteries plus important pour le scénario B (il faut sans doute plus de capacités) et d'une usure plus rapide des batteries. Cetee comparaison est à approfondir au cas par cas

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

201	**6.4.4.3 Berechnung Kapitalwert und Annuität** Ein Vergleich der Kosten der Szenarien und Vergleichsfälle erfolgt über den Kapitalwert und die Annuität. Der Kapitalwert ist eine Kennzahl der dynamischen Investitionsrechnung. Sie zeigt auf, welcher Betrag zum Beginn des Betrachtungszeitraums vorhanden sein müsste, um alle im Betrachtungszeitraum anfallenden Zahlungsströme abdecken zu können. Der Kapitalwert bezieht sich auf den Beginn des Betrachtungszeitraums. Dies wird durch eine Abzinsung der später anfallenden Zahlungen berücksichtigt. Restwerte am Ende des Betrachtungszeitraums werden ebenfalls berücksichtigt. Zusätzlich wird die Annuität ausgewiesen. Mit der Annuität werden die durchschnittlichen jährlichen Zahlungsströme aufgezeigt. Sie bezieht sich wie der Kapitalwert auf den Beginn des Betrachtungszeitraums. Die Umrechnung der Investitionen in die jährlichen Kosten für Abschreibung und Verzinsung ermittelt sich bei der Annuitätenmethode gemäß folgender Formel: $$a = N \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}$$ a: Annuität N: Nettoinvestition i: Zinssatz [%] n: Nutzungsdauer in Jahren In den Berechnungen wird ein mit der BVG abgestimmter Betrachtungszeitraum von 30 Jahren angenommen. Zur Beurteilung von Investitionsmaßnahmen zum Ausbau der Infrastruktur ist dies ein üblicher Korridor. Bestehende Restwerte (nach 30 Jahren) werden in der Life Cycle Cost Analyse linear über die Nutzungsdauer berücksichtigt.	6.4.4.3 Calcul de la valeur actuelle nette et de l'annuité Une comparaison des coûts des scénarios et des cas de comparaison est effectuée en utilisant la valeur actuelle nette et l'annuité. La valeur actuelle nette est un chiffre clé du calcul de l'investissement dynamique. Il indique le montant qui devrait être disponible au début de la période considérée afin de pouvoir couvrir tous les flux de paiement survenant au cours de la période considérée. La valeur actuelle nette se réfère au début de la période considérée. Il en est tenu compte en actualisant les paiements à venir. Les valeurs résiduelles à la fin de la période considérée sont également prises en compte. En outre, l'annuité est indiquée. L'annuité indique les flux de paiement annuels moyens. Comme la valeur en capital, elle se réfère au début de la période considérée. La conversion de l'investissement en coûts annuels pour l'amortissement et les intérêts est déterminée selon la formule suivante pour la méthode de l'annuité : $$a = N \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}$$ a : Annuité N : Investissement net i : Taux d'intérêt [%] n : Durée de vie utile en années Dans les calculs, on part d'une période d'observation de 30 ans convenue avec la BVG (NDT : l'exploitant des transports de Berlin). Il s'agit d'un couloir commun pour évaluer les mesures d'investissement visant à développer les infrastructures. Les valeurs résiduelles existantes (après 30 ans) sont prises en compte dans l'analyse du coût du cycle de vie selon la méthode linéaire sur la durée de vie utile.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

202	Zur Berechnung des Kapitalwerts und der Annuität wurden in Abstimmung im Arbeitskreis folgende Annahmen getroffen: · Zinssatz: 3% · jährliche Preissteigerungsrate: 1% Daraus ergibt sich ein Realzinssatz von 1,98%. Für alle Investitionen und Aufgaben wird eine einheitliche Preissteigerung angenommen. Die Preissteigerung orientiert sich dabei an den Preissteigerungen der Erzeugerpreise für elektrische Ausrüstungen gemäß Preisindex „GP09-27 Elektrische Ausrüstungen“ des Statistischen Bundesamtes“ [104] Die folgenden Tabellen zeigen das Gesamtergebnis des Wirtschaftlichkeitsvergleichs, das sich als Kapitalwert oder als jährliche Annuität ausdrücken lässt, jeweils über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren berechnet.	Pour calculer la valeur actuelle nette et l'annuité, les hypothèses suivantes ont été formulées en accord avec le groupe de travail : - Taux d'intérêt : 3%. - Taux annuel d'augmentation des prix : 1%. Il en résulte un taux d'intérêt réel de 1,98%. On suppose une augmentation uniforme des prix pour tous les investissements et toutes les tâches. L'augmentation des prix est basée sur les augmentations des prix à la production des équipements électriques selon l'indice des prix "GP09-27 Equipement électrique" de l'Office fédéral de la statistique" [104]. Les tableaux suivants montrent le résultat global de la comparaison de l'efficacité économique, qui peut être exprimée en valeur actuelle nette ou en annuité, chacune étant calculée sur une période d'observation de 30 ans.	

203 Tabelle 6-23: LCC-Analyse - Kapitalwert & Annuität

Tableau 6-23 : Analyse LCC - Valeur actuelle nette et annuité

NDT : seules les deux dernières lignes du tableau originel sont reproduites

	Einheit Unité	**Dieselbus Bus Diesel**	**Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)**	**Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle**	**HObus Trolleybus IMC**	
					Szenario A Scénario A	**Szenario B Scénario B**
Annuitätenmethode Méthode des annuités						
Annuität Annuité	**TEUR/a 1000 EUR/an**	**- 43.058**	**- 56.201**	**- 54.907**	**- 56.464**	**- 55.732**
Annuität je Platz-km Annuité par place-km	**ct/ Platz-km Cent/Place-km**	**- 2,732**	**- 3,827**	**- 3,648**	**- 3,340**	**- 3,297**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

204	Im Vergleich der Untersuchungsfälle mit Strom angetriebenen Fahrzeugen zeigt sich, dass die Ergebnisse relativ nah beieinander liegen, insbesondere angesichts der teilweisen noch unsicheren Annahmen zur weiteren Entwicklung der Batterie- und Fahrzeugtechnologie und der entsprechenden Erzeugerpreise. Bezogen auf die angebotenen Platzkilometer weist der Batterie-Oberleitungsbus unter den heute als realistisch getroffenen Annahmen jedoch einen signifikanten Kostenvorteil auf. Im Ergebnis der projektspezifischen Lebenszykluskostenbetrachtung sind die auf den **Platzki-lometer bezogenen Annuitäten** des HObusses und des Dieselbusses in vergleichbarer Höhe und bis zu 22% günstiger als bei den Elektrobussen in der Ausführung als Depot- und Gelegenheitslader. Wesentliche Gründe dafür liegen im geringeren Fahrzeugbedarf und einer geringeren Fahrleistung des HObussystems, da keine zusätzlichen Ladezeiten an den Endstellen oder im Depot erforderlich sind. Die Lebenszeit der Fahrzeuge ist mit 16 Jahren beim HObus höher als bei den Depot- und Gelegenheitsladern (12 Jahre). Bei den Depot- und Gelegenheitsladern fallen wegen der erforderlichen Batteriegrößen zudem höhere Kosten beim Auswechseln der Batterien an (Lebenszeit der Batterien: ca. 6 Jahre). Darüber hinaus bietet das HObussystem durch den Einsatz von Doppelgelenkbussen eine sehr hohe Kapazität und Leistungsfähigkeit, was sich günstig auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt.	Une comparaison des cas étudiés avec les véhicules électriques montre que les résultats sont relativement proches, notamment en raison des hypothèses en partie encore incertaines sur le développement futur de la technologie des batteries et des véhicules et sur les prix à la production correspondants. Cependant, en termes places kilométres offertes, le trolleybus à batterie IMC présente un avantage significatif en termes de coût dans les hypothèses considérées comme réalistes aujourd'hui. Suite à l'analyse du coût du cycle de vie spécifique au projet, les annuités du trolleybus et du bus Diesel en regard des places kilométres sont comparables et jusqu'à 22% moins chères que celles des bus électriques avec charge au dépôt et avec charge occasionnelle. Les principales raisons en sont les besoins moindres en véhicules et en temps de conduite du système Trolleybus IMC, car aucun temps supplémentaire pour la charge n'est nécessaire aux terminus ou dans le dépôt. La durée de vie des véhicules est plus longue pour les trolleybus IMC (16 ans) que pour bus électriques avec charge au dépôt ou occasionnelle (12 ans). Les bus électriques avec charge au dépôt ou occasionnelle supportent également des coûts plus élevés lors du remplacement des batteries en raison des tailles de batteries requises (durée de vie des batteries : environ 6 ans). En outre, le système trolleybus IMC offre une capacité et des performances très élevées grâce à l'utilisation de bus à double articulation, ce qui a un effet favorable sur l'efficacité économique.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

205

6.4.4.4 Sensitivitätsbetrachtungen

6.4.4.4 Considérations de sensibilité

Tabelle 6-25: LCC-Analyse – Sensitivitätsbetrachtungen
Tableau 6-25 : Analyse LCC - considérations de sensibilité

NDT : seules quelques lignes et colonnes du tableau originel sont reproduites

Annuität [ct pro Platzkilometer] **Annuité [centimes par place-kilomètre]**	**Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)**	**Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle**	**HObus Szenario A Trolleybus IMC Scénario A**	**HObus Szenario B Trolleybus IMC Scénario B**
Basisrechnung **Calcul de base**	-3,827	-3,648	-3,340	-3,297
Sensitivität: Nutzungsdauer Batterie für HObus 6 -> 8 Jahre Sensibilité : durée de vie des batteries pour le trolleybus IMC 6 -> 8 ans			-3,314	-3,270
Sensitivität: Nutzungsdauer Fahrzeug für HObus 16 -> 18 Jahre Sensibilité : durée de vie pour le trolleybus IMC 16 -> 18 ans			-3,274	-3,231
Sensitivität: Umrechnungs- faktor von Tag zu Jahr 365 -> 320 Sensibilité : facteur de passage du jour ouvrable à l'anné 365 -> 320	-4,031	-3,842	-3,530	-3,481
Sensitivität: Platzkapazität HObus: Doppelgelenkbus 130 Plätze -> 156 Plätze pro Fahrzeug (Gesamtplatzzahl) Sensibilité : capacité du trolleybus IMC biarticulé 130 places -> 156 places par véhicule (capacité totale assis + debout)			-3,093	-3,053

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

206	Da die Annahme zur Gesamtplatzzahl des HO-Doppelgelenkbusses mit 130 Plätzen/Bus im Vergleich mit den Herstellerangaben eher vorsichtig ist, wurde auch hierzu eine Sensitivitätsrechnung ergänzt. Bei der Annahme von 4 Personen/m² für die Stehplatzfläche (analog zu den Gefäßgrößen der Vergleichsvarianten) ergeben sich für einen Doppelgelenkbus 156 Gesamtplätze. Daraus resultieren spezifische Annuitäten für die Szenarien A/B/C von: 3.09 / 3.05 / 3.16 ct pro Platz-km. Aus wirtschaftlicher Sicht ist damit festzuhalten, dass der HObus für die untersuchte Verkehrsleistung im Untersuchungsgebiet zu empfehlen ist. Die nachfolgende Tabelle stellt die wesentlichen Kenngrößen zum Mengengerüst und die wesentlichen Ergebnisse aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung überblicksartig zusammen.	Comme l'hypothèse de 130 places/bus pour le trolleybus IMC biarticulé est plutôt prudente par rapport aux spécifications du fabricant, un calcul de sensibilité a également été ajouté. En supposant 4 personnes/m² pour la zone debout (par analogie avec ce qui est pris pour les véhicules dans les variantes de comparaison), on obtient 156 sièges au total pour un autobus à double articulation. Il en résulte des annuités spécifiques pour les scénarios A/B/C de : 3,09 / 3,05 / 3,16 ct par place-km. D'un point de vue économique, on peut donc affirmer que le trolleybus IMC est recommandé pour l'offre de transport examinée dans la zone d'étude. Le tableau suivant donne un aperçu des principaux chiffres clés et des principaux résultats de l'analyse économique.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

207

Tabelle 6-26: Wesentliche Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
Tableau 6-26 : Principaux résultats de l'étude de faisabilité économique

	Einheit Unité	Dieselbus Bus Diesel	Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)	Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle	HObus Szenario A Trolleybus IMC Scénario A	HObus Szenario B Trolleybus IMC Scénario B	HObus Szenario C Reduziertes Netz Trolleybus IMC Scénario C Réseau réduit
Fahrzeugbedarf **Besoins en véhicules**							
Anzahl Fahrzeuge Nombre de véhicules	Stück Pièce	187	223	205	187	187	129
Anzahl Solo-/Doppelstock-/Gelenk-/Doppelgelenkbusse Nombre std/étage/articulé/biarticulé	Stück Pièce	10/61/116/0	12/0/211/0	11/0/194/0	0/0/113/74	0/0/113/74	0/0/113/16
Neupreis Fahrzeuge (inkl. Batterie) nach Solo-/Doppelstock-/Gelenk-/Doppelgelenkbusse Prix neuf du véhicule (Y c batteries) std/étage/articulé/biarticulé	TEUR/Fahrzeug 1000 EUR/Véhicule	270/450/350/-	625/-/834/-	624/-/833/-	-/-/832/1272	-/-/832/1272	-/-/832/1272
Anteil Oberleitung **Proportion de ligne aérienne**							
Anteil Oberleitung Proportion de ligne aérienne	% (betr. Netzlänge) % (Longueur du réseau)				0,84	0,63	0,54
Betriebliche Kenngrößen **Chiffres clés Exploitation**							
Anzahl Linien Nombre de lignes	Stück Pièce	14	14	14	14	14	9
Fahrleistung Offre	Mio. Fzg km/a Mio Véhic km/an	15,45	16,22	15,45	15,45	15,45	11,51
Platzkilometer Places kilomètres	Mio. Platz-km/a Mio places km/an	1.576	1.469	1.505	1.690	1.690	1.178
Investitionen **Investissements**							
Fahrzeuge inkl. Batterie Véhicules y compris batteries	TEUR/a 1000 EUR/an	70.750	183.474	168.466	188.144	188.144	114.368
Infrastruktur Infrastructure	TEUR/a 1000 EUR/an		13.962	30.000	137.100	121.328	95.412
Summe Total	TEUR/a 1000 EUR/an	70.750	197.436	198.466	325.244	309.472	209.780

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

207

Tabelle 6-26: Wesentliche Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
Tableau 6-26 : Principaux résultats de l'étude de faisabilité économique
(Suite)

	Einheit Unité	Dieselbus Bus Diesel	Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)	Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle	HObus Szenario A Trolleybus IMC Scénario A	HObus Szenario B Trolleybus IMC Scénario B	HObus Szenario C Reduziertes Netz Trolleybus IMC Scénario C Réseau réduit
Jährlich anfallende Kosten **Coûts annuels résultants**							
Unterhaltung Infrastruktur Entretien des infrastructures	TEUR/a 1000 EUR/an		145	444	1.146	995	762
Betriebskosten Coûts d'exploitation	TEUR/a 1000 EUR/an	35.631	35.607	34.861	34.281	34.281	24.045
Summe jährliche Kosten Total des coûts annuels	TEUR/a 1000 EUR/an	35.631	35.752	35.304	35.427	35.276	24.807
Jährliche Kosten je Platz-km coût annuel par place kilomètre	ct/Platz-km Cent/place km	2,261	2,424	2,316	2,028	2,028	2,040
Kenngrößen zur Wirtschaftlichkeit Chiffres clés de l'efficacité économique							
Kapitalwert (30a) Valeur actuelle nette (30 ans)	TEUR 1000 EUR	- 966.988	- 1.262.127	- 1.233.066	- 1.268.052	- 1.251.613	- 859.626
Annuität Annuité	TEUR/a 1000 EUR/an	- 43.058	- 56.201	- 54.907	- 56.464	- 55.732	- 38.278
Annuität je Platz-km Annuité par place kilomètre	ct/Platz-km Cent/place km	-2,732	-3,827	-3,648	-3,340	-3,297	-3,248

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

208	**7 Nachhaltigkeit** **(…)** Mit der vorliegenden Machbarkeitsstudie wird eine Umstellung des Busnetzes in Berlin-Spandau auf elektrische betriebene Hybridoberleitungsbusse geprüft. In den Szenarien A und B werden 187 dieselbetriebene Busse durch Hybridoberleitungsbusse ersetzt, mit einer Betriebsleistung von 15,5 Mio. Fahrzeugkilometer pro Jahr. In Szenario C, in dem ein Teil des Busnetzes durch Straßenbahnen ersetzt wird, werden 129 Dieselbusse durch Hybridoberleitungsbusse ersetzt – insgesamt mit 11,5 Mio. Fahrzeugkilometer pro Jahr. Im Vergleich mit anderen Städten mit (Hybrid-)Oberleitungsbussen würde Berlin damit europaweit zu den Städten mit den größten (Hybrid-)Oberleitungsbusnetzen zählen. Auf der Basis der Modellrechnungen lassen sich Wirkungen bei Treibhausgas-Emissionen und im Primär- und Endenergieverbrauch ermitteln. Berücksichtigt werden direkte Emissionen und Verbräuche für den Betrieb der Fahrzeuge sowie indirekte Emissionen und Verbräuche, die bei der Energieerzeugung, dem Herstellen und Transport des Stroms bzw. Kraftstoffs, freigesetzt werden. Im Rahmen des Projektes wird eine Betrachtung der gesamten Wirkkette für die Fortbewegung (Well-to-Wheel) vorgenommen. Primäres Ziel der Nachhaltigkeitsbewertung ist die Ermittlung des CO2-Reduktionspotenzials der verschiedenen Technologiealternativen. Nicht quantifiziert werden Emissionen beim Bau und Betrieb der Infrastruktur. Ergänzend zur Ermittlung des CO2-Reduktionspotenzials wird als ein Eckwert zur Luftreinhaltung die Stickstoffbilanz (NOx) der Dieselbusse ermittelt. Bei einer Umstellung von Diesel- auf Hybridoberleitungsbus-Betrieb ist darüber hinaus davon auszugehen, dass die Lärmbelastung entlang des Busnetzes sinkt. Nach [109] sind Elektroantriebe wesentlich leiser als Verbrennungsmotoren und bei den im Stadtverkehr üblichen Geschwindigkeiten ist das Motorgeräusch der Busse maßgebend. Eine Abschätzung der Auswirkungen kann im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht erfolgen.	7 Durabilité (...) Cette étude de faisabilité examine la conversion du réseau de bus de Berlin-Spandau en trolleybus hybrides à propulsion électrique. Dans les scénarios A et B, 187 autobus à moteur Diesel sont remplacés par des trolleybus hybrides IMC, avec une offre d'exploitation de 15,5 millions de véhicules-kilomètres par an. Dans le scénario C, où une partie du réseau de bus est remplacée par des trams, 129 bus Diesel sont remplacés par des trolleybus hybrides IMC - avec un total de 11,5 millions de véhicules-kilomètres par an. Par rapport à d'autres villes équipées de trolleybus (hybrides IMC), cela ferait de Berlin l'une des villes disposant du plus grand réseau de trolleybus (hybrides IMC) d'Europe. Sur la base des calculs du modèle, les effets sur les émissions de gaz à effet de serre et sur la consommation d'énergie primaire et finale peuvent être déterminés. Les émissions et la consommation directes liées au fonctionnement des véhicules sont prises en compte, ainsi que les émissions et la consommation indirectes qui sont libérées lors de la production d'énergie, de la production et du transport d'électricité et de carburant. Dans le cadre du projet, toute la chaîne du puits à la roue est prise en compte. L'objectif principal de l'évaluation de la durabilité est de déterminer le potentiel de réduction des émissions de CO2 des différentes alternatives technologiques. Les émissions liées à la construction et à l'exploitation de l'infrastructure ne sont pas quantifiées. En plus de la détermination du potentiel de réduction du CO2, le bilan d'azote (NOx) des bus Diesel est déterminé comme référence pour la lutte contre la pollution atmosphérique. Dans le cas d'une conversion du Diesel au trolleybus hybride IMC, on peut également supposer que la pollution sonore le long du réseau de bus diminuera. Selon [109], les chaines de traction électriques sont beaucoup plus silencieuses que les moteurs à combustion et, aux vitesses habituelles du trafic urbain, le bruit des moteurs des bus est le facteur déterminant. Une évaluation des effets ne peut être faite dans le cadre de l'étude de faisabilité.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

209	**7.1 Treibhausgasemissionen (CO2eq)** Wesentliche Eingangsgröße zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen (CO2eq) ist der Energieverbrauch zur Durchführung des Betriebs. Über den Energieverbrauch und spezifische Emissionsraten werden die Treibhausgasemissionen je Untersuchungsfall bestimmt. Darüber hinaus werden zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen (CO2eq) die Emis-sionen bei der Fahrzeugherstellung berücksichtigt. Für die Untersuchungsfälle der Elektrobusse und den Hybridoberleitungsbussen werden zusätzlich die Emissionen bei der Batterieherstellung ermittelt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Angaben zu Emissionen, die bei der Batterieproduktion entstehen, stark variieren und je nach Zellchemie sowie Energiedichte weit auseinanderliegen. Um die Unsicherheit abzubilden erfolgt eine Betrachtung mit einer unteren und oberen Grenze. Die Emissionsberechnungen erfolgen nach umfangreicher Datenrecherche und Abstimmung im Arbeitskreis unter folgenden Annahmen:	7.1 Émissions de gaz à effet de serre (CO2eq) La principale variable d'entrée pour déterminer les émissions de gaz à effet de serre (CO2eq) est la consommation d'énergie pour le fonctionnement. Les émissions de gaz à effet de serre par cas d'étude sont déterminées par la consommation d'énergie et les taux d'émission spécifiques. En outre, les émissions lors de la production des véhicules sont prises en compte pour déterminer les émissions de gaz à effet de serre (CO2eq). Pour les cas d'étude des bus électriques et des trolleybus hybrides IMC, les émissions pendant la production des batteries sont également déterminées. Il faut tenir compte du fait que les données sur les émissions générées lors de la production des batteries sont très variables et diffèrent largement en fonction de la chimie des cellules et de la densité énergétique. Afin de refléter l'incertitude, une limite inférieure et supérieure est utilisée. Les calculs d'émissions sont effectués après une recherche approfondie de données et une décision au sein du groupe de travail, sur la base des hypothèses suivantes :	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

209

Tabelle 7-1: CO_2-eq Emissionsraten
Tableau 7-1 : Taux d'émission de CO2-eq

	Einheit **Unité**	**CO_2eq**
Fahrzeugherstellung **Fabrication des véhicules**		
Eindecker Standard	t/Fahrzeug tonne/véhicule	85
Gelenkbus Bus articulé	t/Fahrzeug tonne/véhicule	120
Doppeldecker Bus à étage	t/Fahrzeug tonne/véhicule	120
Doppelgelenk Bus biarticulé	t/Fahrzeug tonne/véhicule	150
Batterieherstellung **Fabrication des batteries**		
untere Grenze Limite basse	t/kWh tonne/kWh	0,075
oberer Grenze Limite haute	t/kWh tonne/kWh	0,15
Fahrzeugbetrieb **Exploitation des véhicules**		
Diesel	kg/kWh	0,334
Strom 2016 Electricité 2016	kg/kWh	0,527
Strom 2030 Electricité 2030	kg/kWh	0,192
Ökostrom Electricité verte	kg/kWh	0

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

209	Die berücksichtigten Ansätze zu den Treibhausgasemissionen (CO2eq) bei der Fahrzeugherstellung und im Fahrzeugbetrieb in Tabelle 7-1 werden aus der „Machbarkeitsstudie von HObusverkehr in Deutschland – am Beispiel Marburg und Trier“ übernommen [128]. Zur Berechnung des Energiegehaltes von Dieselkraftstoff wird auf das Lehrbuch „Chemie für Ingenieure“ von Jan Hoinkis und Eberhard Lindner verwiesen. Dort wird ein Heizwert (LHV) von 43,0 MJ/kg angegeben. Laut DIN EN 590 darf Dieselkraftstoff eine minimale Massedichte von 820 kg/m3 (gleich 0,82 kg/L) bei 15 Grad Celsius haben. Daraus ergibt sich ein Energiegehalt von ziemlich genau 9,8 kWh/L (1kWh gleich 3,6 MJ). Quellen: Hoinkis, Jan; Lindner, Eberhard [Autor/In] Chemie für Ingenieure - [12. Aufl.], Weinheim [u.a.]: Wiley-VCH, 2001 12. Aufl. DIN EN 590: 2017-08 Kraftstoffe-Dieselkraftstoff-Anforderungen und Prüfverfahren, Deutsche Fassung, Deutsches Institut für Normung e.V. Für die Treibhausgaswirkung in der Batterieproduktion wird, auch in Anbetracht der Umsetzung in frühestens 2-3 Jahren, ein Standardwert von 150kg CO2eq/kWh angesetzt. Als untere Grenze werden 75kg CO2eq/kWh angenommen. *In Schrader (2017) werden die Angaben aus verschiedenen Quellen bezüglich der CO2-Äquivalente pro Kilowattstunde Speicherkapazität der Batterie mit 110 bis 200 kg angege-ben. Dies deckt sich auch mit anderen Studien (siehe die Angabe von 150 bis 200 kg CO2-eq/kWh in der Metastudie von Romare et al. (2017)). In einer aktuellen Studie (Regett et al. 2019), die sich sehr ausführlich mit der THG-Bilanzierung von Fahrzeugbatterien auseinandersetzt, werden Werte von 62 bis 212 kg CO2-eq/kWh angegeben. Beim ICCT (2018) variieren die Werte auf Basis einer aktuellen Literaturauswertung von 30 bis 494 kg CO2-eq/kWh, wobei die meisten Studien Werte von 100 bis 200 kg CO2-eq/kWh ausweisen.* *Quelle: https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2019/presseinfo-07-elektroautos-klimabilanz.html - Seite 7 (bzw. 10 im pdf)*	Les estimations prises en compte pour les émissions de gaz à effet de serre (CO2eq) pendant la production et l'exploitation des véhicules dans le tableau 7-1 sont tirées de l'"Étude de faisabilité du transport par Trolleybus hybride en Allemagne - l'exemple de Marburg et Trier" [128]. Pour le calcul du contenu énergétique du carburant Diesel, il est fait référence au manuel "Chimie pour l’ingénieur" de Jan Hoinkis et Eberhard Lindner. On y trouve un pouvoir calorifique (LHV) (NDT : Lower Heating Value) de 43,0 MJ/kg. Selon la norme DIN EN 590, le carburant Diesel peut avoir une densité massique minimale de 820 kg/m3 (égale à 0,82 kg/L) à 15 degrés Celsius. Il en résulte un contenu énergétique assez précis de 9,8 kWh/L (1kWh équivaut à 3,6 MJ). Sources : Hoinkis, Jan ; Lindner, Eberhard [Author/In] Chimie pour les ingénieurs - [12ième ed.], Weinheim [et autres.] : Wiley-VCH, 2001 12th ed. DIN EN 590 : 2017-08 Carburants-Combustible diesel-exigences et méthodes d'essai, version allemande, Deutsches Institut für Normung e.V. Une valeur par défaut de 150 kg CO2eq/kWh est appliquée pour l'impact des gaz à effet de serre dans la production de batteries, en considérant également la mise en œuvre dans 2-3 ans au plus tôt. On suppose une limite inférieure de 75 kg de CO2eq/kWh. Dans Schrader (2017), les données de diverses sources concernant les équivalents CO2 par kilowattheure de capacité de stockage de la batterie sont données comme étant de 110 à 200 kg. Cela est également cohérent avec d'autres études (voir le chiffre de 150 à 200 kg d'éq. CO2/kWh dans la méta-étude de Romare et al. (2017)). Dans une étude récente (Regett et al. 2019), qui examine de manière très détaillée la comptabilisation des GES des batteries de véhicules, des valeurs de 62 à 212 kg CO2-eq/kWh sont données. À l'ICCT (2018), sur la base d'une récente revue de la littérature, les valeurs varient de 30 à 494 kg CO2-eq/kWh, la plupart des études faisant état de valeurs de 100 à 200 kg CO2-eq/kWh. Source : *https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2019/presseinfo-07-elektroautos-klimabilanz.html* - Page 7 (ou 10 dans le pdf)	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

210	Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch das ifeu: https://www.agora-verkehrswende.de/presse/newsuebersicht/elektroautos-beschleunigen-den-klimaschutz-von-jahr-zu-jahr-mehr/ (Seite 20ff). Festzuhalten ist, dass die Werte in der Literatur stark schwanken und hierzu nur eine Annäherung über eine Bandbreite möglich erscheint. Hinsichtlich des anzusetzenden Strommixes wird zur Darstellung der unterschiedlichen Entwicklungspfade ebenfalls mit einer Bandbreite gearbeitet. Für eine obere Abschätzung der Treibhausgaswirkung wird der Strommix 2030 angesetzt [128], da in Berlin bereits heute „grüner Strom“ verwendet wird. Zusätzlich erfolgt ein Ansatz für emissionsfreien Ökostrom. Die Emissionsraten werden auf die Mengengerüste der Untersuchungsfälle angewendet. Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsfälle zeigt folgende Tabelle.	Des résultats similaires ont également été obtenus par ifeu : https://www.agora-verkehrswende.de/presse/newsuebersicht/elektroautos-beschleunigen-den-klimaschutz-von-jahr-zu-jahr-mehr/ (page 20 et suivantes). Il faut noter que les valeurs dans la littérature sont très variables et que seule une approximation par fourchette semble possible. En ce qui concerne le mix électrique à utiliser, une fourchette est également utilisée pour illustrer les différentes pistes de développement. Pour une estimation supérieure de l'impact des gaz à effet de serre, le mix électrique de 2030 est utilisé [128], car l'"électricité verte" est déjà utilisée à Berlin aujourd'hui. En outre, une approche est faite pour l'électricité verte sans émission. Les taux d'émission sont appliqués aux structures quantitatives des cas étudiés. Les résultats des différents cas d'étude sont présentés dans le tableau suivant.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

211

Tabelle 7-2: Umweltwirkungen Treibhausgasemissionen (CO_2eq)

Tableau 7-2 : Impacts environnementaux Émissions de gaz à effet de serre (CO2eq)

	Einheit Unité	**Dieselbus Bus Diesel**	**Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)**	**Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle**	**Hybrid-Oberleitungs-bus Trolleybus IMC**	
					Szenario A Scénario A	**Szenario B Scénario B**
Emissionen Herstellung / pro Jahr Emissions Fabrication / par an						
Doppelgelenkbus Bus biarticulé	t CO_2eq/a				694	694
Gelenkbus Bus articulé	t CO_2eq/a	1.392	2.110	1.940	848	848
Doppeldecker Bus à étage	t CO_2eq/a	610	0	0		
Standardbus Bus standard	t CO_2eq/a	85	85	78		
Batterie min	t CO_2eq/a		1.131	535	168	168
Batterie max	t CO_2eq/a		2.261	1.070	337	337
Summe min Total mini	**t CO_2eq/a**	**2.087**	**3.326**	**2.553**	**1.710**	**1.710**
Summe max Total maxi	**t CO_2eq/a**	**2.087**	**4.456**	**3.088**	**1.878**	**1.878**
Betrieb Exploitation						
Energieverbrauch Consommation d'énergie	MWh/a	79.009	42.194	40.185	40.610	40.610
Diesel	t CO_2eq/a	26.391				
Strom / Kraftwerkpark 2030 Electricité / parc 2030 de centrales électriques	t CO_2eq/a		8.101	7.716	7.797	7.797
Ökostrom Electricité verte	t CO_2eq/a		0	0	0	0
Gesamtsumme min (Strom 2030) Total mini (Electricité 2030)	**t CO_2eq/a**	**28.478**	**11.427**	**10.268**	**9.507**	**9.507**
Gesamtsumme min (Strom 2030) je Platz-km Total mini (Electricité 2030) par place-km	**kg CO_2eq/a/ Platz-km kg CO_2eq/a/ Place-km**	**18,071**	**7,781**	**6,822**	**5,624**	**5,624**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

211

Tabelle 7-2: Umweltwirkungen Treibhausgasemissionen (CO_2eq)

Tableau 7-2 : Impacts environnementaux Émissions de gaz à effet de serre (CO2eq) Suite

	Einheit Unité	Dieselbus Bus Diesel	Elektrobus (Depotlader) Bus électrique (charge au dépôt)	Elektrobus (Gelegen-heitslader) Bus électrique (charge occasionnelle	Hybrid-Oberleitungs-bus Trolleybus IMC	
					Szenario A	Szenario B
Gesamtsumme max (Strom 2030) Total maxi (Electricité 2030)	**t CO_2eq/a**	**28.478**	**12.557**	**10.803**	**9.675**	**9.675**
Gesamtsumme max (Strom 2030) je Platz-km Total maxi (Electricité 2030) par place-km	**kg CO_2eq/a/ Platz-km kg CO_2eq/a/ Place-km**	**18,071**	**8,550**	**7,177**	**5,723**	**5,723**
Gesamtsumme min (Ökostrom) Total mini (Electricité verte)	**t CO_2eq/a**	**28.478**	**3.326**	**2.553**	**1.710**	**1.710**
Gesamtsumme min (Ökostrom) je Platz-km Total mini (Electricité verte) par place-km	**kg CO_2eq/a/ Platz-km kg CO_2eq/a/ Place-km**	**18,071**	**2,264**	**1,696**	**1,011**	**1,011**
Gesamtsumme max (Ökostrom) Total maxi (Electricité verte)	**t CO_2eq/a**	**28.478**	**4.456**	**3.088**	**1.878**	**1.878**
Gesamtsumme max (Ökostrom) je Platz-km Total maxi (Electricité verte) par place-km	**kg CO_2eq/a/ Platz-km kg CO_2eq/a/ Place-km**	**18,071**	**3,034**	**2,051**	**1,111**	**1,111**
min. Reduktion CO2 ggü. Diesel Réduction mini de CO2 % Diesel	**Strommix 2030 Mix 2030 électricité**		**- 60%**	**- 64%**	**- 67%**	**- 67%**
min. Reduktion CO2 ggü. Diesel Réduction mini de CO2 % Diesel	**Ökostrom Electricité verte**		**- 88%**	**- 91%**	**- 94%**	**- 94%**

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

212	Die Tabelle 7-2 zeigt, dass der Dieselbus in der Herstellung die geringsten CO2-Emissionen erzeugt, insbesondere da keine Batterie benötigt wird und kleinere Fahrzeuge als bei den Szenarien mit Hybridoberleitungsbus eingesetzt werden. Aufgrund der vergleichsweise geringen Batterieausstattung zeigt auch der Hybridoberleitungsbus in der Herstellung noch deutliche Vorteile gegenüber dem Elektrobus. Zusätzlich wirkt sich beim Hybridoberleitungsbus die längere Nutzungsdauer der Fahrzeuge (ohne Batterie) günstig auf die jährlichen Emissionen der Fahrzeugherstellung aus. Für die Emissionen des Betriebs sind sie Emissionsraten der verwendeten Kraftstoffe ausschlaggebend. Im Betrieb entstehen beim Dieselbus mit 26.391 t CO2 pro Jahr die höchsten Werte hinsichtlich der CO2 Emissionen. Hybridoberleitungsbusse sowie Gelegenheitslader liegen deutlich darunter. Von hoher Bedeutung ist hierbei aber die Entwicklung des Strommixes. Unter der Annahme eines Strommixes 2030 wird eine Reduzierung des CO2-Ausstoßes auf rund 30% im Vergleich zum Dieselbusbetrieb erreicht.	Le tableau 7-2 montre que le bus Diesel produit les plus faibles émissions de CO2 en production, d'autant plus qu'aucune batterie n'est nécessaire et que les véhicules utilisés sont plus petits que dans les scénarios avec trolleybus hybride IMC. En raison de l'équipement relativement faible en batteries, le trolleybus hybride IMC présente encore de nets avantages en termes de production par rapport au bus électrique. En outre, la durée de vie plus longue des véhicules (sans batterie) a un effet favorable sur les émissions annuelles de la production de véhicules. Pour les émissions lors de l'exploitation, les taux d'émission des combustibles utilisés sont déterminants. En fonctionnement, le bus Diesel produit les valeurs les plus élevées en termes d'émissions de CO2, soit 26.391 t CO2 par an. Les trolleybus hybrides IMC et les bus électriques à charge occasionnellle se situents nettement en dessous. Toutefois, l'évolution du mix électrique revêt une grande importance à cet égard. Dans l'hypothèse du mix électrique 2030, les émissions de CO2 sont réduites d'environ 30% par rapport à l'exploitation bus Diesel.	
213	7.2 NOx Bilanz Zusätzlich zu den klimarelevanten Emissionen wird als Kennwert für die Luftreinhaltung eine NOx Bilanz erstellt. Bisher führen Stickoxide auch in Berlin zu Problemen, da die vorgegebenen Grenzwerte nicht überall eingehalten werden. Bei den derzeit eingesetzten Dieselbusflotten stellen die Stickoxid-Emissionen oft ein Problem dar. Bei Hybridoberleitungsbussen werden beim Betrieb vor Ort keine Stickoxide ausgestoßen. Dies trägt im Einzugsbereich zur Luftreinhaltung bei. Für die Antriebstechnologie der Dieselbusse werden als ein Eckwert zur Luftreinhaltung Stickoxide (NOx) berechnen. Das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) gibt für das Jahr 2017 einen NOx-Wert von 5,514 g/km an. Für das Jahr 2030 reduziert sich laut HBEFA der NOx-Wert auf 0,646 g/km.[104] Daraus ergeben sich Stickoxidbelastungen aus dem betrachteten Dieselbusbetrieb, wie in der Tabelle 7-4 dargestellt.	7.2 Bilan des NOx En plus des émissions liées au climat, un bilan des NOx est établi en tant que paramètre de la lutte contre la pollution atmosphérique. Jusqu'à présent, les oxydes d'azote ont également posé des problèmes à Berlin, car les valeurs limites spécifiées ne sont pas respectées partout. Les émissions d'oxyde d'azote sont souvent un problème avec les flottes de bus Diesel actuellement utilisés. Avec les trolleybus hybrides IMC, aucun oxyde d'azote n'est émis pendant l'exploitation sur site. Cela contribue à la lutte contre la pollution atmosphérique dans la zone desservie. Pour la technologie de propulsion des bus Diesel, les oxydes d'azote (NOx) sont calculés car c'est un repère pour le contrôle de la pollution atmosphérique. Le Manuel des Facteurs d'Emissions pour le Transport Routier (HBEFA) donne une valeur de NOx de 5,514 g/km pour l'année 2017. Pour l'année 2030, selon la HBEFA, la valeur des NOx est réduite à 0,646 g/km [104]. Il en résulte une pollution par les oxydes d'azote pour l'exploitation considéré des autobus Diesel, comme le montre le tableau 7-4.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

<table>
<tr><td>214</td><td>Tabelle 7-4: NOx Bilanz Dieselbus
Tableau 7-4 : Bilan NOx bus Diesel

<table>
<tr><td></td><td>Einheit
Unité</td><td>Dieselbus
Bus Diesel</td></tr>
<tr><td>NOx Bilanz
Bilan NOx</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Laufleistung
Offre</td><td>1000 km/a</td><td>15.446</td></tr>
<tr><td>Diesel 2017</td><td>kg/a</td><td>85.171</td></tr>
<tr><td>Diesel 2030</td><td>kg/a</td><td>9.978</td></tr>
</table></td><td></td></tr>
<tr><td>214</td><td>Mit Bezugsjahr 2017 kann der NOX-Ausstoß in Berlin-Spandau durch die Umstellung von Dieselbussen auf Hybridoberleitungsbusse in erheblichem Umfang reduziert werden. Langfristig gesehen ist davon auszugehen, dass sich der Vorteil aufgrund des Einsatzes emissionsärmerer Dieselbusse deutlich reduzieren wird.</td><td>Par rapport à l'année de référence 2017, les émissions de NOX à Berlin-Spandau peuvent être réduites de manière significative en passant des bus Diesel aux trolleybus hybrides IMC. À long terme, on peut supposer que l'avantage sera considérablement réduit grâce à l'utilisation de bus Diesel à plus faibles émissions.</td><td></td></tr>
<tr><td>215</td><td>8 Literaturverzeichnis
8 Bibliographie</td><td></td><td></td></tr>
</table>

[1] DIN EN 50119:2014-01 (VDE 0115-601): Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb

[2] DIN EN 50122-1:2017-10 (VDE 0115-3): Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 1: Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag

[3] DIN EN 50153:2018-01 (VDE 0115-2): Bahnanwendungen - Fahrzeuge - Schutz-maßnahmen in Bezug auf elektrische Gefahren

[4] DIN EN 50163:2005-07 (VDE 0115-102): Bahnanwendungen - Speisespannungen von Bahnnetzen

[5] DIN EN 50502:2016-03 (VDE 0115-502): Bahnanwendungen - Fahrzeuge - Elektri-sche Ausrüstung in Obussen - Sicherheitsanforderungen und Stromabnehmersys-teme

[6] Weise, Durth u.a.: Straßenbau – Planung und Entwurf; 3. Auflage, Verlag für Bau-wesen, Berlin 1997

[7] Gerstenberg, Lehmann, Zauner: Elektromobilität bei schweren Nutzfahrzeugen; in: Elektrische Bahnen 8-9/2012, Seite 452-460

[8] Bühs, Keil, Lehmann: Stromabnehmer für schwere Nutzfahrzeuge; in: Elektrische Bahnen 4/2013; Seite 249-256

[9] Brodkorb, A.: Truck Trolley System; Vortrag Siemens AG 2014

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

[10] Bernhardt, Sauer, Hendrix: Ermittlung des Energiebedarfs zur Bewegung von Fahr-zeugen in mikroskopischen Verkehrssimulationen; in: Wissenschaftliche Beiträge TH Wildau, Januar 2015, S. 29-37

[11] Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 11. Dezember 1987 (BGBl. I S. 2648), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 16. Dezember 2016 (BGBl. I S. 2938) geändert worden ist („BOStrab“)

[12] Projektplakat „eBus Skorpion – Elektrobus im Südraum Leipzig“; Westsächsische Hochschule Zwickau, 2016

[13] Kiepe Elektrik GmbH: Obus-Stromabnehmer; Druckschrift 12SA2DEI, Düsseldorf 2002

[14] Die Omnibusflotte der BVG, BVG 2016

[15] Schwertner, M.: Energetischer Systemvergleich von Diesel-, Hybrid- und Elektro-bussen; 2017

[16] Frenzel, A.: Elektrobussysteme – Technologiebetrachtung und daraus resultierende Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen; 2014

[17] E-Mobilität: Welche Rolle kann der Trolleybus spielen; in: Der Nahverkehr, Juni 2018, S. 54-63

[18] E-Bus Standard „Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse“, Frauenhofer IVI 2017

[19] Optimierung des Oberleitungsnetzes bei einer Elektrifizierung des Busverkehrs mit-tels In Motion Charging am Beispiel der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG); Fabien Laurent; 2017

[20] BBG Barnimer Busgesellschaft mbH: Fahrplan 861 gültig ab 12.02.2018. online

[21] BBG Barnimer Busgesellschaft mbH: Fahrplan 862 gültig ab 12.02.2018. online

[22] BMVI (Hrsg.): Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung 2018.

[23] Bombardier Transportation: Datenblatt Primove Lommel. online

[24] Bühlow, H.: Die Obus-Stadt-Eberwalde

[25] Dongfeng Yangtse (Hrrsg.): Trolleybusses. http://en.yzjqc.com/index.php/In-dex/pru/aid/45

[26] Google (Hrsg.): Google Maps

[27] Global World Logistic Ltd (Hrsg.): WB-LYP100AHA LiFeYPO4 (3.2V/100Ah TALL). https://www.ev-power.eu/Winston-40Ah-200Ah/WB-LYP100AHA-LiFeYPO4-3-2V-100Ah-TALL.html

[28] Hondius, H.: Der Trolleybus-Hybridbetrieb in Esslingen. stadtverkehr 6/17 (62. Jg.) S. 20 ff.

[29] Hondius, H.: E-Mobilität: Welche Rolle kann der Trolleybus spielen? Der Nahverkehr 6/2018

[30] Kiebler, R.: Der Obus- und DuObus-Betrieb in Esslingen am Neckar. http://www.obus-es.de/netz.htm

[31] Kiepe Electric (Hrsg.): Esslingen, Batteriegelenkbus mit IMC 500

[32] Kiepe Electric (Hrsg.): In Motion Charging (IMC®)-Busse - Referenzen . http://www.kiepe.knorr-bremse.com/elektrobusse/trolleybusse-in-motion-charging/vkproduktordner.2008-05-14.2954039772

[33] Klamann, S.: Obus rollt tiefer nach Finow hinein. https://www.moz.de/land-kreise/barnim/eberswalde/artikel4/dg/0/1/1399169/

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

[34] Lehmann, J.: Die 5.Generation - Die ersten vier BatterieOberleitungsBusse (BOB) der Firmen Solaris/Kiepe-Electric. http://obus269rb.bplaced.net/s259BOB.pdf

[35] Lehmann, J.: Zusammenfassung der Meldungen von TrolleyMotion 01.03.2018 bis 31.05.2018 . http://trolleymotion.bplaced.net/okb112.pdf

[36] ElektroMobilität NRW (Hrsg.): Elektrobusse in NRW - Marktübersicht und -entwick-lungen. https://www.elektromobilitaet.nrw.de/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/Brosch%C3%BCre_E-Busse__in_NRW_2016.pdf

[37] Petersson, V.: Europas erster Hybrid-Obus rollt. https://www.moz.de/landkreise/bar-nim/eberswalde/artikel4/dg/0/1/1027645/

[38] Pütz, R. et Al.: Wissenschaftlichen Begleitung, Unterstützung und Beratung des BMVI in den Bereichen Verkehr und Mobilität mit besonderem Fokus auf Kraftstoffen und Antriebstechnologien sowie Energie und Klima

[39] Rohlfs, W.: Electrification of bus routes with ebuses & fast charging stations – in case of no overhead wires

[40] SVE (Hrsg.): Fahrplan 118

[41] SVE (Hrsg.): Fahrplan 113

[42] Stadtwerke Solingen (Hrsg.): Verkehrsbetrieb mit Weltruf. http://www.sobus.net/die-sws/

[43] Stadtwerke Solingen: Fahrplan 695 Ri. Abteiweg

[44] Stadtwerke Solingen: Fahrplan 695 Ri. Meigen

[45] Stadtwerke Solingen (Hrsg.): Bob - Batterie Oberleitungsbus. https://www.bob-so-lingen.de/

[46] TROLLEY (Hrsg.): Trolley - Promoting Electric Public Transport Teil A

[47] TROLLEY (Hrsg.): Trolley - Promoting Electric Public Transport Teil B

[48] Uhl, A.: Quartier-eBus: Die VBZ setzen Elektrifizierungsstrategie fort. https://www.stadt-zuerich.ch/vbz/de/index/die_vbz/medien/medienmitteilun-gen/quartier-ebus--die-vbz-setzen-elektrifizierungsstrategie-fort.html

[49] VBZ (Hrsg.): «SwissTrolley plus» – ein Batterie-Trolleybus. https://www.swisstrol-leyplus.ch

[50] Walther, C.: Ein BOB für Solingen. Stadtverkehr 5/18 (63. Jg.) S. 6 ff.

[51] Werwitzke, C.: Städtischer Verkehrsbetrieb Esslingen wird rein elektrisch. https://www.electrive.net/2017/07/25/esslinger-verkehrsbetrieb-wird-rein-elektrisch/

[52] Wruck, F. Et al.: Eberswalde Use Case set up Report Pillar A. ELIPTIC - electricifi-cation of public transport in cities

[53] Wruck, F. Et al.: Eberswalde Final Use Case Report .ELIPTIC - electricification of public transport in cities

[54] Kompendium: Li - Ionen - Batterien Im BMWi Förderprogramm IKT Für Elektromo-bilität II: Smart Car Smart Grid Smart Traffic Grundlagen, Bewertungskriterien, Ge-setze Und Normen Stand: Juli 2015

[55] Lithium-Ionen-Batterietechnologie; Vortrag an der Hochschule RheinMain Rüssels-heim, 03.Juni 2016, Dr. Jochen Mähliß, www.batteryuniversity.eu

[56] DIN 43539 Teil4; 9 „Akkumulatoren; Prüfungen; Ortsfeste Zellen und Batterien“

[57] „Gesamt-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030“; Fraunhofer – Institut für System - und Innovationsforschung I S I; Karlsruhe Dez. 2015

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

[58] „Energiespeicher-Roadmap (Update 2017)“; Fraunhofer – Institut für System - und Innovationsforschung I S I; Karlsruhe Dez. 2017

[59] „Batteriesysteme für Schienentriebzüge“; VDE Studie 27. August 2018

[60] VDV-Schrift 230/1, 03/2018, Rahmenempfehlung für elektrisch betriebene Stadt-Niederflur-Linienbusse (E-Bus)

[61] https://www.windkraft-journal.de/2018/08/16/kit-szenario-2050-lithium-und-kobalt-koennten-knapp-werden/126076; 16.08.2018, „KIT: Szenario 2050: Lithium und Ko-balt könnten knapp werden“

[62] https://www.bmbf.de/de/lithium-aus-deutschland-nachhaltig-und-kostenguenstig-5576.html; 05.02.2018; „Lithium aus Deutschland: nachhaltig und kostengünstig“

[63] * Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit; 18.04.2017 | Webseite „Umweltbilanz der Elektromobilität - Erneuerbare Energien tanken“; „Strom- und Ressourcenbedarf von Elektromobilität (PDF barrierefrei, 662 KB)“

[64] Biesenack, H.; George, G.; Hofmann, G.: Energieversorgung elektrischer Bahnen. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag, 2006.

[65] Kießling, F.; Puschmann, R.; Schmieder, A.; Schmidt, P.: Fahrleitungen elektrischer Bahnen, Planung, Berechnung, Ausführung. Stuttgart, Leipzig: B.G. Teubner Ver-lag, 1998.

[66] Kießling, F.; Puschmann, R.; Schmieder, A.: Fahrleitungen elektrischer Bahnen, Planung, Berechnung, Ausführung, Betrieb. Erlangen: Publicis Publishing, 2014.

[67] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. https://www.zvei.org/verband/fachverbaende/fachverband-batterien/wo-liegt-ei-gentlich-der-unterschied-zwischen-einer-batterie-und-einem-akku/

[68] Auf der Maur, A.; Rommerskirchen, S.; Strassburg, S. (2015): Aktualisierung des Referenzszenarios für die Einsparpotenziale der Treibhausgas-Emissionen und des Endenergieverbrauchs im Verkehr für die Zeithorizonte 2020 und 2050 – Aktualisie-rung der Prognoseergebnisse sowie Ab-schätzung und Bewertung politischer Maß-nahmen. Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Basel: Prognos AG (vertraulich)

[69] Berliner Verkehrsbetriebe: Lageplan Omnibusbetriebshof Spandau, 22.01.2019

[70] Coordination Office Charging Interface, c/o Carmeq GmbH: Combined Charging System 1.0, Specification – CCS 1.0, 09.07.2015

[71] Rema USA LLC (Hrsg.): CCS 1 DC Fast Charge Electric Vehicle Connector. http://rema-ev.com/dc-fast-charge/

[72] Berliner Verkehrsbetriebe, Solaris Deutschland GmbH, Bombardier Transportation GmbH, u.w.: Schaufenster Elektromobilität, E-Bus-Berlin – Betrieb der Buslinie 204 mit einer Flotte von Elektrobussen inklusive Infrastruktur zur induktiven Zwischenla-dung, 14.12.2016

[73] Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Prof. Dr.-Ing. Friedbert Pautzke, Dipl.-Ing. Christian Hain u.a.: Elektromobilität – Arbeiten an Omnibussen mit Hochvolt-Syste-men, 10/2016

[74] Matutis, M.: Die Elektrobus-Werkstatt als wichtiger Bestandteil eines funktionieren-den Elektrobus-Systems; Vortrag Daimler AG 12.10.2018

[75] Bender GmbH & Co.KG (Hrsg.): Elektrische Sicherheit für die Elektromobilität. https://www.bender.de/fileadmin/content/Products/b/d/Emobility_PROSP_de.pdf; abgerufen am 14.03.2019

[76] Hammer, S.; Stephan, A; Wundratsch, G.; u.w.: Stand und Entwicklungstendenzen bei elektrisch betriebenen Linienbussen, Systemstudie; Hrsg.: trolley:motion, Verein zur Förderung moderner Trolleybussysteme, März 2017

[77] HOPPECKE Batterien GmbH & Co. KG: Moderne Batterietechnologien für den Ein-satz in Elektrobussen des ÖPNV. http://www.trolley-project.eu/fileadmin/user_up-load/Library/6S_Gunter_Schaedlich.pdf (abgerufen am 25.04.2019)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

[78] Neudorfer, H.: Vergleich unterschiedlicher Antriebsmaschinen im Traktionsbereich, http://www.ieam.tuwien.ac.at/fileadmin/t/ieam/download_bereich/tagungen/2008-/ove2008_neudorfer.pdf (abgerufen am 24.07.2014)

[79] Knote, T., Haufe, B., Saroch, L.: E-Bus-Standard „Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse"; Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme, Mai 2017

[80] Ballard Power Systems, Inc.: Product Portfolio., http://www.ballrd.com/files/PDF/ProductPortfolio.pdf (abgerufen 30.04.2014)

[81] Dongxiang Yan, Languang Lu, Fuchao Jiang, u.w.: Comparing the performances of different energy storage cells for hybrid electric vehicle; EVS28 Kintex, Korea, 3.-6. Mai 2015

[82] D.W. Corson: High power battery systems for hybrid vehicles; Journal of Power Sources, ISSN 0378-7753, 105 (2002), Seite 110-113

[83] Bauer, S.: Akku Welt; Hrsg.: Vogel Business Media, 2017

[84] Dambrowski, J.: Methoden der Ladezustandsbestimmung – mit Blick auf LiFePO4/Li4Ti5O12-Systeme. http://www.deutronic.com/fileadmin/images/products/Ladegeraete/Literatur_LG/Methoden_der_Ladezustandsbestimmung.pdf, (abgerufen 28.03.2019)

[85] Müller-Hellmann, A.: Überlegungen zu Batteriebus-Systemen, Vor- und Nachteile verschiedener Ladesysteme; Der Nahverkehr, Sonderheft Elektrobusse 2017

[86] Lindenmüller, L.: Untersuchung eines mittelfrequent schaltenden DC/DC-Konverters für Traktionsanwendungen; Hrsg.: TUDpress, 28.Juli 2015

[87] Robert, S.: DC/DC Book of Knowledge, praktische Tipps für Anwender; Hrsg.: RECOM

[88] Reiter, T. M.: Reglerentwicklung und Optimierungsmethoden für DC/DC-Wandler im Kraftfahrzeug; München 13.06.2012

[89] "Potenziale des Hybrid-Oberleitungsbusses als effiziente Möglichkeit für die Nut-zung erneuerbarer Energien im ÖPNV" Heidelberg Landshut im Auftrag des BMVI 2011; nach [Pütz/Haberstock, 2015]

[90] Vanhoutte, M.: Elektrobus Erfahrungen bei Transdev. Transdev Group. 2018

[91] Datenblatt SILEO S25 09-10-2017, Sileo GmbH, Salzgitter. 2017

[92] Strombelastbarkeit für PVC- und VPE-isolierte Niederspannungskabel 0,6/1 kV in Luft und Erde. Bayerische Kabelwerke AG, Roth. 2013.

[93] Der Nahverkehr. Öffentlicher Personenverkehr in Stadt und Region. Elektrobus-Spezial 2019.

[94] Laber, W.: Elektrobusnetz Darmstadt 2025, Ergebnisse der Machbarkeitsstudie; HEAG mobilo GmbH https://www.h2bz-hes-sen.de/mm/mm001/HEAG_mobilo_Elektrobusnetz_Ergebnisse_Machbarkeitsstu-die_AK_Elektrobusse_Rhein-Main.pdf (abgerufen 05.02.2109)

[95] F. Bergk, U. Lambrecht, Prof. Dr. R. Rütz, u.a.: Potenziale des Hybrid-Oberleitungs-busses als effiziente Möglichkeit für die Nutzung erneuerbarer Energien im ÖPNV; https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/studie-hybrid-oberleitungsbusse.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen 21.02.2019)

[96] ZIV – Zentrum für integrierte Verkehrssysteme GmbH: Untersuchung eines "Sam-melbus-Systems" als Verbindung zwischen Darmstadt und dem östlichen Landkreis Darmstadt-Dieburg; https://www.dadina.de/fileadmin/user_upload/Sammelbus_Fi-nal_30.11.2016.pdf (abgerufen am 21.02.2019)

[97] Zhengzhou Yutong Group Co., Ltd: https://en.yutong.com/pressmedia/marketex-press/2017/2017CHJDZxXngY.html (abgerufen am 13.01.2019)

[98] Zhongtong Double-source Electric Trolley Bus highly welcomed in Jinan; http://www.chinabuses.org/news/2015/0303/article_8746.html (abgerufen am 13.01.2019)

[99] Schulze, M. (BVG): mündliche Mitteilung während Begehung des Betriebshofs Ber-lin-Spandau am 11.02.2019

[100] Nordhaus, P.: schriftliche Mitteilung vom 07.05.2019

[101] Verkehr und Infrastruktur, Kanton Luzern: Schleppkurven Busse Massstab 1:500, Doppelgelenkbus https://vif.lu.ch/down_load/fachordner/fachordner_strassen/schleppkurven (abgeru-fen: 01.05.2019)

[102] Siemens: Charge your future – mit der Siemens eBus-Ladetechnik. https://w3.siemens.com/topics/global/de/elektromobilitaet/PublishingImages/lade-technik-busse/pdf/ebus-brochure-de.pdf (abgerufen am 12.04.2019)

[103] BMVI (2016). Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im schie-nengebundenen öffentlichen Personennahverkehr. München, 2016.

[104] HBEFA (Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs) (2017): www.hbefa.net/d/

[105] Destatis (2019), Statistisches Bundesamt. Erzeugerpreisindizes gewerblicher Pro-dukte: GP09-27 Elektrische Ausrüstungen, 2019

[106] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt: Nahverkehrsplan Berlin 2014-2018. S. 41. Berlin, 2014.

[107] VDV. Herausgeber Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Life Cycle Cost (LCC) bei Linienbussen – Bewertungskriterien bei Ausschreibungen. S.6. Köln, 2010.

[108] EN 17186:2018-01 – Entwurf; Identifikation von Fahrzeug- und Infrastrukturkompa-tibilität - Kennzeichnung von elektrischem Strom für das Laden von Elektrofahrzeu-gen

[109] Bergk, Lambrecht, Pütz et.al. (2015). Potenziale des Hybrid-Oberleitungsbusses als effiziente Möglichkeit für die Nutzung erneuerbarer Energien im ÖPNV, Heidel-berg, Landshut, München 2015 http://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/MKS/studie-hybrid-oberleitungsbusse.htm

[110] EN 17409:2017-07; Elektrisch angetriebene Straßenfahrzeuge - Anschluss an eine externe Stromversorgung – Sicherheitsanforderungen

[111] EN 15118-8:2018-08 – Entwurf; Straßenfahrzeuge - Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladestation - Teil 8: Anforderungen an physikalische und Datenverbindungsschnittstelle für die drahtlose Kommunikation

[112] Professur Elektrische Bahnen: Interview mit Benjamin Freudenberg-Leiter Techni-sche Anlagen BBG Eberswalde, Eberswalde, Januar 2019

[113] Carosserie HESS: Hess erhält Trolleybus-Auftrag aus Lausanne. Stadtverkehr. 03/2019

[114] ENSO Netz GmbH (2018) Materialpreisliste 2018

[115] HELUKABEL (2014) Auswahltabellen für Energie- & Starkstromkabel, verfügbar unter http://www.helukabel.com/publica-tion/DE/CATALOGUES/CW/Auswahltabellen_DE/Kap_Q_534_603_dt_link.pdf

[116] Hondius, H.: Busse mit Elektroantrieben heute, Stadtverkehr 10/2011

[117] Preining, V.: Österreichweit längster Obus für Linz, meinbezirk.at, 4. September 2017, Abgerufen am 22. März 2019, verfügbar unter: https://www.meinbezirk.at/linz/c-lokales/oesterreichweit-laengster-obus-fuer-linz_a2238182.

[118] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2019) Bodenrichtwerte 01.01.2019 BORIS Berlin, Abgerufen am 22. März 2019, verfügbar unter: https://fbinter.stadt-berlin.de/boris/.

[119] Professur Elektrische Bahnen: Interview mit Holger Greipel (BVG) am 25 Februar 2019

[120] Professur Elektrische Bahnen: Eigene Berechnungen, 2019

[121] Ufert, M.: Electrification of Urban Bus Fleets: Challenges and Solutions, Vortrag an der Grid Integration of Electric Mobility 5.-6. Juni 2018, Berlin

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

[122] Verkehrsverbund Mittelsachsen GmbH (2016) Neubau von zwei Gleichrichterunter-werken einschließlich deren Ausrüstung in Chemnitz, Schienenverkehrsportal, In-locon AG, 23. Februar 2016, Abgerufen am 22.03.2019, verfügbar unter: https://www.schienenverkehrsportal.de/referenzobjektdetails_Projekt_Neubau_von_zwei_Gleichrichterunterwerken_einschl_deren_Ausruestung_in_Chemnitz_09111_Chemnit_id_60258.html.

[123] Wietschel, M.; et al (Februar 2017) Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw, Fraunhofer ISI, Karlsruhe

[124] Wundratsch, G.; Hammer, S.: Stand und Entwicklungstendenzen bei elektrisch be-triebenen Linienbussen, Technische Universität Dresden, 2016, Dresden, System-studie 2015/EB-005-02

[125] Professur Elektrische Bahnen: Auskunft Elpro GmbH 4. April 2019

[126] Hondius, H.: ZeEus das Elektrobuskonzept der UITP, Stadtverkehr 04/2014

[127] EBF Dresden GmbH & Fraunhofer IVI (2014) Konzept für eine städteübergreifende Einführung von elektrisch angetriebenen Linienbussen in Thüringen, 4. Juli 2014, Präsentation, Messe Erfurt

[128] Teilstudie „Machbarkeitsstudie von HO-Busverkehr in Deutschland – am Beispiel Marburg und Trier“, Wissenschaftliche Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraft-stoffstrategie, Fraunhofer ISI, Fraunhofer IWES, PTV Transport Consult GmbH, VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin, 2018, bisher unveröffentlicht

[129] trolley:motion: trolley worldmap. https://www.trolleymotion.eu/trolleystaedte/ (abge-rufen am 19.06.2019)

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

225	9.1 Glossar 9.1 Glossaire (extraits seulement)	

Batterie	Der Begriff „Batterie“ wird sowohl als Oberbegriff für Energiespeicher benutzt, als auch als Bezeichnung für einen nicht wieder aufladbaren Energiespeicher (Primärbatterie). Ob in einem Gerät eine nicht wieder aufladbare Primärbatterie (z.B. Langzeiteinsatz in der Armbanduhr) oder ein wieder aufladbarer Akku (z.B. im Smartphone) verwendet wird, hängt vom Einsatz ab. [67] Für elektrische angetriebene Fahrzeuge werden Akkumulatoren verwendet.	Le terme "batterie" est utilisé à la fois comme un terme générique pour les dispositifs de stockage d'énergie et comme un terme pour un dispositif de stockage d'énergie non rechargeable (batterie primaire). L'utilisation d'une batterie primaire non rechargeable dans un appareil (par exemple, une utilisation à long terme dans une montre-bracelet) ou d'une batterie rechargeable (par exemple, dans un smartphone) dépend de l'utilisation. [67] Pour les véhicules à propulsion électrique, on utilise des accumulateurs.
Obus (auch Trolleybus) Trolleybus	gummibereiftes Fahrzeug (mit seitlich eingeschränktem Einsatzbereich oder geführt) ohne sichere Schutzverbin-dung des Fahrgestells, die elektrisch angetrieben in einem für Personen öffentlich zugänglichen Bereich betrieben werden und galvanisch extern durch eine Stromversor-gungsleitung (Oberleitung, Stromschiene) gespeist werden [5]	Véhicule sur pneus (avec zone d'utilisation limitée latéralement ou guidée) sans connexion de protection sûre du châssis, qui est exploité électriquement dans une zone accessible au public et est alimenté galvaniquement à l'extérieur par une ligne d'alimentation électrique (ligne aérienne, rail conducteur) [5].

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

225	HObus (Hybridoberleitungsbus) Diverses appellations : Trolleybus hybride Trolleybus batteries Trolleybus IMC (In Motion Charging) Trolleybus DC (Dynamic Charging) Trolleybis CD (Charge Dynamique Trolleybus 2.0	ist ein Obus der zusätzlich mit Batterien ausgestattet ist, um fahrleitungsfreie Abschnitte elektrisch zu befahren. Prinzipiell haben sich zwei grundlegende Technologien für batterieelektrische Oberleitungsbusse entwickelt: 1. der batterieelektrische Oberleitungsbus, bei dem die Batterie aus der Fahrleitung geladen und das elektrische Fahrzeug auch rekuperierte Leistung in das Fahrleitungsnetz für andere Verbraucher abgeben kann. Diese Technik ist auch unter dem Begriff In Motion Charging (IMC, Firma Kiepe) oder Streckenlader bekannt. 2. der batterieelektrische Oberleitungsbus, bei dem die Batterie aus der Fahrleitung geladen und das elektrische Fahrzeug keine Leistung in das Fahrleitungsnetz für andere Verbraucher abgeben kann. Diese Technologie bietet u.a. die Firma ABB an. Derzeit wird dieses Technikprinzip auch im Rahmen des Forschungsprojektes Swiss Trolley Plus von der ETH Zürich, der Firma Hess und dem Nahverkehrsbetreiber der Stadt Zürich weiter beforscht und für den Einsatz erprobt.	est un trolleybus qui est en outre équipé de batteries afin de pouvoir se déplacer électriquement sur des tronçons sans lignes aériennes de contact. En principe, deux technologies de base se sont développées pour les trolleybus électriques à batterie : 1. le trolleybus électrique à batterie, où la batterie est chargée à partir de la ligne aérienne et où le véhicule électrique peut également fournir dans le réseau de lignes aériennes, pour d'autres consommateurs, de l'énergie récupérée au freinage. Cette technologie est également connue sous le nom de charge en mouvement (IMC, société Kiepe) ou charge en ligne. 2. le trolleybus électrique à batterie, où la batterie est chargée à partir de la ligne aérienne et où le véhicule électrique ne peut pas fournir d'énergie au réseau de lignes aériennes pour d'autres consommateurs. Cette technologie est proposée par ABB, entre autres. Actuellement, ce principe technologique fait également l'objet de recherches approfondies et de tests d'utilisation dans le cadre du projet de recherche Swiss Trolley Plus par l'ETH Zurich, la société Hess et l'opérateur de transport local de la ville de Zurich.	

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

227

Fahrleitungsanlage Equipement d'alimentation	ist der Oberbegriff von Stromschienenanlage, Oberlei-tungsanlage und Stromschienenoberleitungsanlage. Sie stellt die erforderliche Anlage zur Versorgung von Fahrzeugen mit elektrischer Energie über Stromabnehmer dar. [5]	est le terme générique pour le système de rail conducteur, le système de ligne aérienne de contact et le système de rail aérien de contact. Il représente le système nécessaire pour alimenter les véhicules en énergie électrique via des capteurs de courant. [5] NDT : capteurs de courants : soit pantographe, soit perches pour le trolleybus
Oberleitungsanlage Equipements de ligne aérienne	ist das Netzwerk zur Versorgung elektrisch angetriebener Fahrzeuge mit elektrischer Energie. Sie umfasst: - alle Drähte und Seile wie Längs- und Quertragseile, Fahrdrähte sowie Bahnenergieleitungen wie Rückleitungsseile, Erdseile, Blitzschutzseile, Speiseleitungen, Verstärkungsleitungen und Negativfeeder, wenn sie auf den Tragkonstruktionen befestigt sind, - Gründungen, Tragkonstruktionen und alle anderen Komponenten, die der Halterung, Seitenführung oder Isolierung der Leiter dienen sowie - Schaltgeräte, Überwachungs- und Schutzeinrichtungen, die auf oder in unmittelbarer Nähe von Tragkonstruktionen installiert sind. [5]	est le réseau d'alimentation en énergie électrique des véhicules à propulsion électrique. Il comprend : - tous les fils et câbles tels que les câbles longitudinaux et transversaux, les fils de contact ainsi que les câbles électriques ferroviaires tels que les câbles de retour, les câbles de terre, les câbles de protection contre la foudre, les câbles d'alimentation, les câbles de renforcement et les câbles d'alimentation négatifs lorsqu'ils sont fixés aux structures de support, - les fondations, les structures de support et tous les autres éléments utilisés pour supporter, guider latéralement ou isoler les conducteurs, et - Appareils de commutation, de surveillance et de protection installés sur ou à proximité immédiate des structures de support. [5]
Oberleitung Ligne aérienne de contact	Fahrleitung, die sich oberhalb oder neben der oberen Grenze des Fahrzeugprofils befindet und über eine auf dem Dach installierte Stromabnehmer-Ausrüstung das Fahrzeug mit elektrischer Energie versorgt. [5]	Ligne aérienne de contact située au-dessus ou à côté de la limite supérieure du profil du véhicule et fournissant de l'énergie électrique au véhicule par l'intermédiaire d'un équipement pantographe installé sur le toit. [5]
Fahrdraht Fil de contact	ist ein elektrischer Leiter einer Oberleitung, der den Kontakt mit dem Stromabnehmer herstellt. [5]	est un conducteur électrique d'une ligne aérienne de contact qui entre en contact avec le pantographe (NDT : ou les perches). [5]

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net

227			
	Speiseleitung Ligne d'alimentation	ist eine elektrische Verbindungsleitung zwischen Schaltanlagen und Fahrleitung, die an eigenen Masten, Oberleitungsmasten oder sonstigen Stützpunkten als Freileitung oder Kabel verlegt wird. [5]	est une ligne de connexion électrique entre un appareillage d'interruption et une ligne aérienne de contact, qui est posée sur ses propres poteaux, sur des poteaux de ligne aérienne de contact ou sur d'autres points de support comme une ligne aérienne ou un câble. [5]
	Verstärkungsleitung Feeder	ist eine parallel zur Oberleitung verlegte Freileitung oder Kabel, die zur Erhöhung des nutzbaren Leitungsquerschnitts in bestimmten Abständen mit der Oberleitung oder Stromschiene verbunden ist.	est une ligne aérienne ou un câble posé parallèlement à la ligne aérienne de contact et connecté à la ligne aérienne de contact ou au rail conducteur à certaines distances pour augmenter la section de ligne utilisable. (NDT : pour diminuer les pertes en lignes qui sont inversement proportionnelles à la section du fil électrique qui transporte le courant)

FIN

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY tél +33 (0)6 60 93 72 66 pdebano@laposte.net