



Machbarkeitsstudie Elektrobuseinsatz in Erkelenz

Elektrifizierung des ErkaBus

Abschlussbericht

Kunde: WestVerkehr GmbH



Winkens, Udo

Autoren: Sinhuber, Philipp
Rogge, Matthias
Sistig, Max

Datum: 30.06.2017

Inhalt

1. Executive Summary / Zusammenfassung	- 2 -
2. Linienanalyse.....	- 5 -
2.1 Übersicht und generelle Annahmen	- 5 -
2.2 Analyse mittels Energieverbrauchssimulation	- 7 -
2.3 Analyse des aktuellen Einsatzkonzeptes	- 9 -
3. Anbieteridentifikation.....	- 12 -
3.1 Übersicht.....	- 12 -
3.2 VDL Bus & Coach.....	- 16 -
3.3 Solaris.....	- 16 -
3.4 Sileo	- 17 -
3.5 Weitere Anbieter für Umbauten und für Zwischengrößen.....	- 18 -
4. Einsatzkonzept	- 19 -
5. Emissionseinsparungspotential und Gesamtnutzungskosten	- 24 -
5.1 Annahmen für die TCO- und Emissionsbetrachtungen	- 25 -
5.2 Ergebnisse der Umweltemissionsbetrachtung.....	- 30 -
5.3 Ergebnisse der Total Cost of Ownership-Betrachtung	- 32 -

1. Executive Summary / Zusammenfassung

Die WestVerkehr GmbH (west) betreibt eine Stadtbuslinie in der Erkelenzer Innenstadt namens „ErkaBus“. Diese wird zurzeit überwiegend durch einen Minibus mit Dieselantrieb bereitgestellt. west plant, den Minibus durch einen elektrischen Bus zu ersetzen und somit die ErkaBus-Linie auf Elektrobusbetrieb umzustellen. ebusplan wurde mit der Durchführung einer technischen Machbarkeitsstudie und der Erstellung einer Planungsgrundlage inkl. Ermittlung der möglichen Umweltauswirkungen und der zu erwartenden Gesamtnutzungskosten (Total Cost of Ownership, TCO) beauftragt.

Linienanalyse und Verfügbarkeit von geeigneten Elektrobussen

In einem ersten Schritt wurde die ErkaBus-Linie hinsichtlich Routenverlauf und Streckeneigenschaften modelliert, das derzeitige Einsatzkonzept nachgebildet und der Betrieb energetisch simuliert, um die technische Machbarkeit mit zurzeit am Markt verfügbaren Elektrobussen zu untersuchen. Dabei zeigte sich, dass der Fahrzeugumlauf, so wie er zurzeit gefahren wird, zu lang ist und zu wenig Pausenzeiten während des Tages auf dem Betriebshof vorsieht, welche zur Nachladung der Fahrzeugbatterien genutzt werden könnten. Somit kann er ohne Anpassungen nicht von einem zurzeit bzw. im kommenden Jahr verfügbaren elektrischen Mini- oder Midibus befahren werden.

Ein Marktscreening ergab potentielle Anbieter von geeigneten Fahrzeugen. Sowohl elektrische Minibusse, als auch elektrische Midibusse kommen zunächst in Betracht. Erstere basieren zumeist auf einem konventionellen Mercedes Sprinter (oder vergleichbar) und werden von Drittfirmen auf einen elektrischen Antriebsstrang umgerüstet. Sie werden mit Batteriekapazitäten (relevant für Fahrreichweite) von bis zu 90 kWh angeboten. Midibusse werden mit Batteriekapazitäten von bis zu 180 kWh angeboten. Zusammen mit west wurden drei verschiedene Fahrzeugkonfigurationen ausgewählt, welche sich in Gefäßgröße und Batteriekapazität unterscheiden. Die Fahrzeugkonfigurationen wurden, ebenso wie die gängigen bzw. realisierbaren Ladeleistungen – 22 kW und 44 kW bei Minibussen und 120 kW bei Midibussen – für die weiteren Untersuchungen modelliert. Die Ladeleistung ist relevant für nachladungsbedingte Stillstandszeit.

Abstellung, Ladeort und Stromversorgung

Als möglicher Nachladeort wird die Abstellungshalle des Betriebshofs der west in der Graf-Reinald-Straße in Betracht gezogen. Durch die damit verbundene Hallenaufstellung werden sehr tiefe Umgebungstemperaturen vermieden, was insbesondere eine Vorkonditionierung der Fahrzeugbatterie (Aufheizen) vor Betriebsbeginn vereinfacht.

Rücksprachen mit der NEW Netz GmbH ergaben, dass die Bereitstellung einer Stromversorgung mit 44 kW mit sehr geringem Aufwand und ohne zusätzlichen Netzanschluss möglich sei. Die Bereitstellung einer Stromversorgung mit 120 kW sei vergleichsweise unaufwändig und ebenfalls ohne zusätzlichen Netzanschluss realisierbar. Der Betriebshof liegt in der Nähe der

Haltestelle *Erkelenz Bahnhof*, des zentralen Ein- und Aussetzpunktes der ErkaBus-Linie. Dies bietet den Vorteil, dass Leerfahrten zum Zwecke der Nachladung kurzgehalten werden können.

Einsatzkonzept

In einem darauffolgenden Schritt wurde für jede der drei zuvor identifizierten Fahrzeugkonfiguration ein Einsatzkonzept in Form eines spezifisch angepassten Fahrzeugumlaufs ermittelt, welcher die energetischen Randbedingungen der Fahrzeuge berücksichtigt. Diese sind Energieverbrauch für Traktion in Verbindung mit Heizung, die verfügbare Energiekapazität der Batterie und die Nachladegeschwindigkeit entsprechend der installierbaren Ladeleistung. Die Fahrzeugumläufe sehen, je nach Fahrzeugkonzept, ein bis drei Aufenthalte auf dem Betriebs-hof tagsüber vor, um die Fahrzeugbatterien aufzuladen. Während der Betriebshofaufenthalte muss jeweils ein (nicht elektrisches) Verstärkerfahrzeug die Fahrplanfahrten übernehmen. Elektrobusse mit größerer Batterie (größere Reichweite) und größerer Ladeleistung (kürzere Ladezeiten) ermöglichen es folglich, eine größere Fahrleistung der ErkaBus-Linie zu substituieren, da sie weniger und kürzere Betriebshofaufenthalte und damit weniger Verstärkerfahrten benötigen. Eine entsprechende betriebliche Flexibilität durch Verstärkerfahrzeuge als gegeben vorausgesetzt, ist es möglich, mit aktuell verfügbaren (elektrische Midi-busse) bzw. für 2018 angekündigten Fahrzeugen (elektrische Midibusse) auf der ErkaBus-Linie hohe elektrische Nutzleistungen von über 210 km/Tag zu erreichen. Diese Nutzleistungen sind ähnlich hoch wie die tägliche Fahrleistung des zurzeit eingesetzten konventionellen Minibusses.

Kosten und positive Umweltauswirkungen

Für die verschiedenen Elektrobuskonfigurationen und ihre technisch-betrieblichen Einsatzkonzepte wurden die möglichen Umweltvorteile (Emissionseinsparungen) gegenüber modernen Dieselnissen (Euro VI) ermittelt und den TCO gegenübergestellt. Bei Einsatz eines elektrischen Minibusses statt des Diesel-Minibusses stehen einer möglichen Emissionseinsparung von ca. 18,2 Tonnen CO₂ pro Jahr Mehrkosten in Höhe von ca. 100.000 € (Barwerte ohne Fahrerkosten) bzw. ca. 22 ct pro Nutz-Kilometer (auf jährliche Fahrleistung bezogene Annuitäten, ohne Fahrerkosten) gegenüber. An Stickoxiden (NO_x) kann ca. 9 kg pro Jahr eingespart werden, an Feinstaub (PM) ca. 70 g pro Jahr.

Fazit

Sofern die zu erwartenden Fahrgastzahlen nicht auf einer größeren Anzahl Linienfahrten der ErkaBus-Linie in Zukunft den Einsatz eines größeren Gefäßes erfordern, stellt sich der elektrische Minibus als zu favorisierende Lösung dar. Aktuell verfügbare Elektrobusse bieten zwar größere Batterien und höhere Ladeleistungen, führen aber – hauptsächlich aufgrund ihres in ähnlichem Maße größeren Gewichts – auch zu einem höheren Energieverbrauch und ermöglichen deswegen keine längeren Einsatzzeiten pro Tag. Somit lässt sich keine höhere Anzahl an Nutzkilometern der ErkaBus-Linie elektrisch zurücklegen. Gleichzeitig führen elektrische

Midibusse aufgrund von höheren Anfangsinvestitionen und einem höheren Energieverbrauch zu höheren Gesamtnutzungskosten (TCO). Neben diesem Aspekt bietet der elektrische Minibus weitere Vorteile. So sind die nötigen Anpassungen an Wartungsinfrastruktur und Mitarbeiterschulungen minimal, da das dem elektrischen Minibus zugrundeliegende Basisfahrzeug bei west bereits im Einsatz ist. Darüber hinaus ist die Stromversorgung mit geringerem Aufwand realisierbar und das fahrzeugseitige Ladegerät schränkt die Möglichkeiten der Nachladung weniger stark ein. Dies ist durch einen einfachen dreiphasigen Anschluss anstelle eines stationären Ladegerätes zu begründen.

Unter Berücksichtigung der Marktverfügbarkeit und genereller Aussagen der Hersteller zur Lieferzeit erscheint ein Betriebsbeginn frühestens ab zweiter Hälfte 2018 realistisch.

2. Linienanalyse

2.1 Übersicht und generelle Annahmen

Die ErkaBus-Linie „EK4“ wird zurzeit fast ausschließlich von einem Diesel-Minibus (Mercedes Benz Sprinter) betrieben, welcher nur bei einzelnen Fahrten mit höherem Fahrgastaufkommen durch einen größeren Bus (Solobus) verstärkt wird. Von west wurden die in Tabelle 1 gezeigten Ergebnisse einer aktuellen Fahrgastzählung bereitgestellt. Es lässt sich erkennen, dass sich – bis auf eine Ausnahme – für sämtliche Fahrten ein Fahrzeug mit einer Fahrgastkapazität von ca. 20 Personen ausreichen würde.

Besetzung	Durchschnitt pro Fahrt:	7,37 Fahrgäste
06:16	6	
06:49	4	
07:16	13	
08:49	3	
09:16	3	
09:49	4	
10:49	0	
11:16	7	
11:49	2	
12:16	3	
12:49	10	
13:11	37	
14:02	1	
14:44	2	
15:09	5	
15:25	0	
16:09	16	
17:09	11	
18:09	10	
19:09	3	
Σ	140	

Tabelle 1 – Fahrgastzahlen (durchschnittliche Besetzung) der ErkaBus-Linie
(Datenquelle: west)

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht für den Linienverlauf. Die Linie ist in zwei kreisförmige Varianten (blau und rot) aufgeteilt, welche abwechselnd und immer in der gleichen Richtung befahren werden. Variante Blau führt über die Haltestelle *Oerather Mühlenfeld* und hat zwei Untervarianten, welche entweder über *Polizei* oder über *Commerdener Höhe* führen. Variante Rot führt über *Borschemich (neu)*. Übergangspunkt ist stets *Erkelenz Bahnhof*, an dem

planmäßig keine Wendezeiten vorgesehen sind. Die Fahrten gehen alle von *Erkelenz Bahnhof* ab und schließen unmittelbar aneinander an.

Die Abstellung erfolgt überdacht in der Fahrzeughalle des Betriebshofs in der Graf-Reinald-Straße, der nur wenige Minuten von dem Übergangspunkt *Erkelenz Bahnhof* entfernt liegt (Abbildung 1 durch einen roten Kreis markiert). Somit bietet er sich auch für Zwischenladungen während des Betriebstages an. Andere Ladeorte wurden im Vorfeld aus Gründen der Verhältnismäßigkeit des Aufwands gegenüber der elektrifizierbaren Fahrleistung ausgeschlossen.

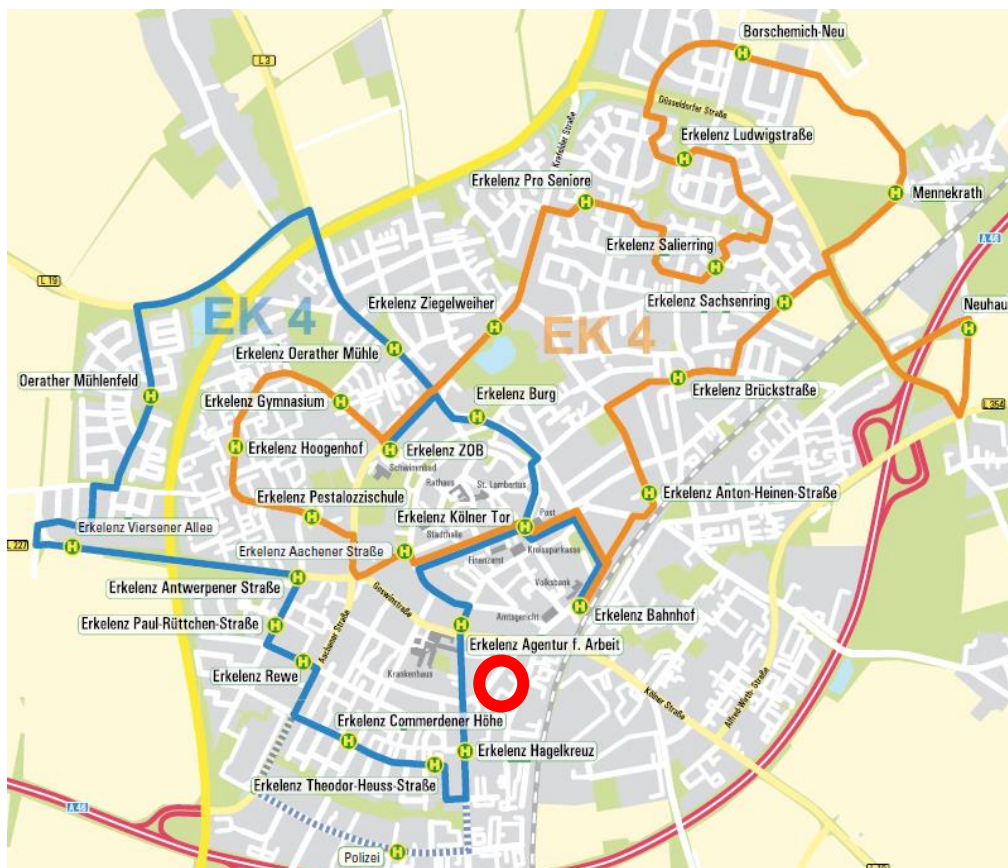


Abbildung 1 – Darstellung der ErkaBus-Linie “EK4” mit seinen beiden Varianten (Quelle: west)

Die Linie verkehrt ausschließlich an Werktagen („Mo.-Fr.“). Es wird zwischen Schultagen und Ferientagen unterschieden, wobei an Ferientagen die blaue Variante lediglich vereinzelt Haltestellen ausspart und die rote Variante zwei (Verstärker-)Fahrten weniger fährt. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie die hinsichtlich Fahrleistung leicht anspruchsvollere Tagesart betrachtet. An Wochenenden und Feiertagen findet kein Betrieb statt.

Die Fahrzeiten – der Fahrplan, den der Kunde sieht – werden in der vorliegenden Betrachtung stets als fest vorgegeben betrachtet. Für das eingesetzte Fahrzeug ergibt sich aus dem aktuel-

len Fahrplan (siehe Abbildung 2) eine „natürliche Pause“ am frühen Nachmittag, da dort aufgrund einer 9-minütigen Vorverschiebung der folgenden Fahrten die nächste Fahrt der orangefarbenen Variante nicht mehr auf die letztvergangene Fahrt der blauen Variante anschließen kann. Auch mit einem energetisch nicht begrenzten Dieselbus (unbegrenzte Reichweite) können somit nicht sämtliche ErkaBus-Linienfahrten mit nur einem Fahrzeug dargestellt werden.

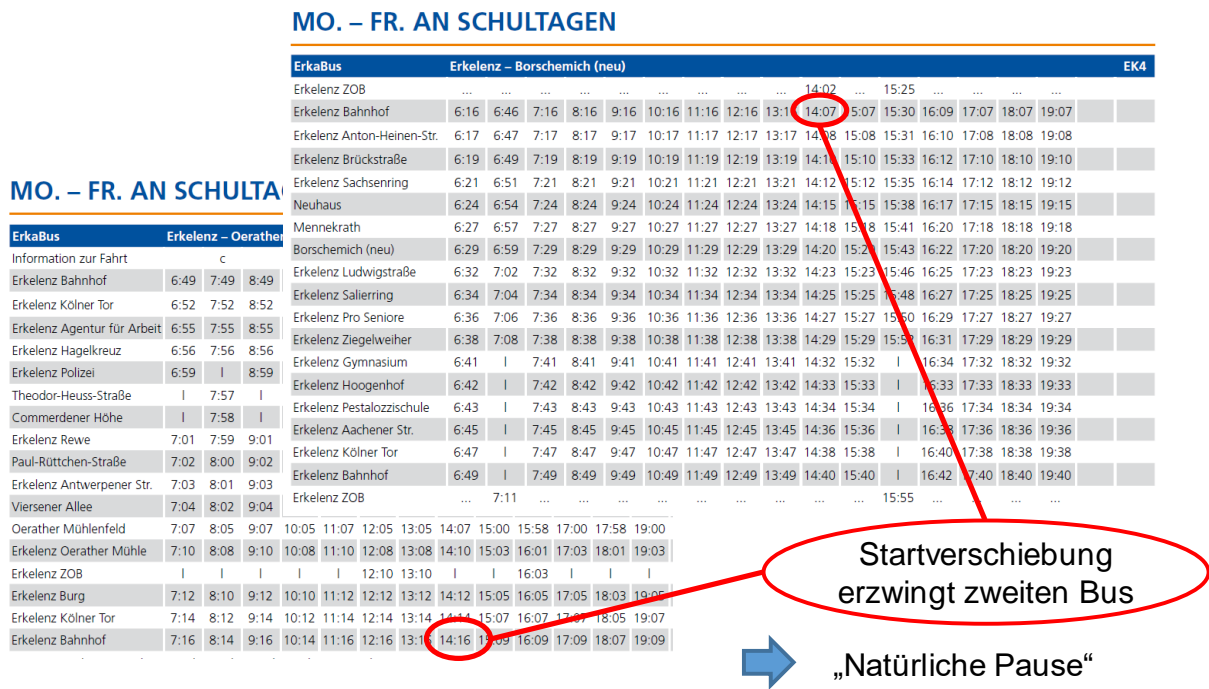


Abbildung 2 – Fahrpläne der Linienvarianten (Hintergrund: blaue Variante, Vordergrund: orange Variante) mit Kennzeichnung der Zeitverschiebung

2.2 Analyse mittels Energieverbrauchssimulation

In einem ersten Schritt wurden die ErkaBus-Linienverläufe modelliert und der Betrieb mit einem Fahrzeugmodell simuliert, um die benötigte Traktionsleistung und den Energiebedarf zu ermitteln. Die ermittelten GPS-Daten der Streckenverläufe wurden mit Höhendaten angereichert und dienten ebenfalls als Eingangsdaten für die Energieverbrauchssimulation. Leerfahrten (Aus- und Einrückfahrten vom Betriebshof zu *Erkelenz Bahnhof*) wurden ebenfalls berücksichtigt. Im Folgenden werden zunächst die für die Simulation verwendeten Fahrzeugkonfigurationen beschrieben und anschließend das aktuelle Einsatzkonzept des ErkaBus-Sprinters ohne Änderungen am derzeitigen Fahrzeugumlauf auf technische Machbarkeit eines Elektrobuseinsatzes hin untersucht.

Anhand der Anbieterrecherche (Kapitel 3) wurden die in Tabelle 2 dargestellten Fahrzeugkonfigurationen ermittelt.

Der Energiebedarf von Elektrobussen kann unterteilt werden in den Energiebedarf für Traktion (Überwinden der Fahrwiderstände, Beschleunigung der Fahrzeugmasse, Verluste des Antriebsstrangs und Zurückspeisen von Bremsenergie durch generatorischen Betrieb der elektrischen Maschine), und den Energiebedarf für Nebenverbraucher (HLK, Lenkhilfen, Kompressoren, Licht, Fahrgastinformation / Infotainment, und vieles mehr). Bei den Energieverbrauchssimulationen wurden die im Folgenden beschriebenen Annahmen (Fahrzeugparameter) bewusst konservativ gewählt. Der Energieverbrauch für Traktion wird maßgeblich vom Fahrzeuggewicht beeinflusst.

Tabelle 2 – Simulatorisch untersuchte Fahrzeugkonfigurationen

Fahrzeugtyp	Leergewicht (mit Batterie)	Batterie- kapazität	Effektiv nutzbare Kapazität ¹	Beispiel
El. Minibus	3,95 t	90 kWh	64,8 kWh	VDL MidCity 5,5t
El. Midibus 1	9,80 t	120 kWh	86,4 kWh	Solaris Urbino 8.9 LE
El. Midibus 2	10,00 t	180 kWh	129,6 kWh	VDL Citea LLE 99
Konventionel- ler Minibus (Referenz)	-	-	-	Mercedes Benz Sprinter City 35

Das Fahrgast-Gesamtgewicht wurde fahrtenscharf entsprechend der oben genannten Erhebung mit einem Personengewicht von 69 kg angesetzt.

Bei den Nebenverbrauchern ist vor allem das HLK-System (Heizung-Lüftung-Klimatisierung) ausschlaggebend, und hier insbesondere der Heizbedarf. Abbildung 3 zeigt die Tageshöchst- (rote Kurve) und Tagestiefsttemperaturen (blaue Kurve) für Geilenkirchen, welches ca. 20 km von Erkelenz entfernt liegt, für die vergangenen Jahre.

¹ Zum einen geben Batteriehersteller aus Sicherheitsgründen und aus lebensdauerwahrenden Maßnahmen den Ladezustandsbereich ihrer Batterien in aller Regel nicht vollständig frei. In dieser Studie wird an dieser Stelle von 90% ausgegangen. Zum anderen altert die Batterie im Laufe ihrer Benutzungsdauer und verliert an Kapazität. Das Lebensdauerende wird gewöhnlicher Weise bei 80% Restkapazität angenommen. Aus diesen beiden Gründen wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass die gesichert mindestens nutzbare Kapazität 72% der installierten Kapazität beträgt ($0,9 \cdot 0,8 = 0,72$).

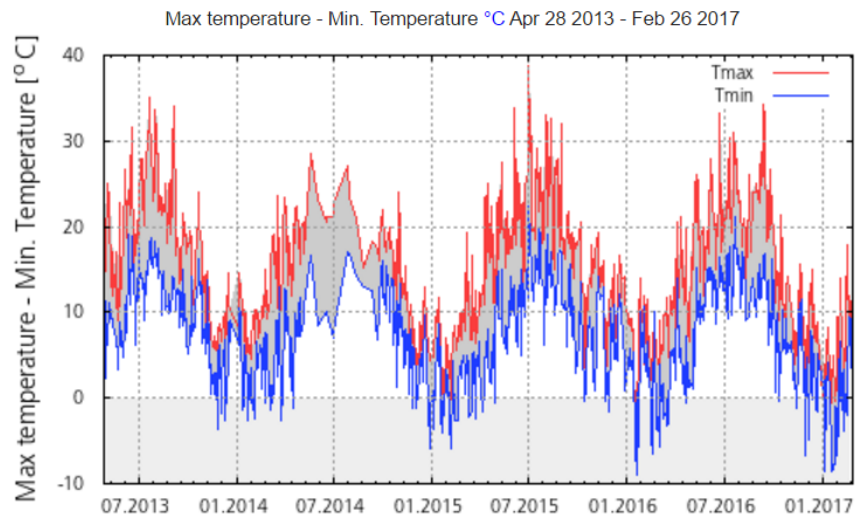


Abbildung 3 – Tiefsttemperaturen in Geilenkirchen (nahe Erkelenz) in den vergangenen Jahren (Quelle: weatheronline.co.uk)

Tiefsttemperaturen unter -5 °C bilden die absolute Ausnahme. Die Abstellung über Nacht soll in der Fahrzeughalle des Betriebshofs erfolgen, so dass extreme Temperaturen vermieden werden können. Darüber hinaus besitzen alle betrachteten angebotenen Fahrzeuge eine Hybridheizung, welche neben einer elektrischen Heizung eine Brennstoff-Zusatzheizung beinhaltet, die bei erhöhtem Heizbedarf einsetzt und die Batterie entlastet. Die Schwelle, bei der die Brennstoff-Zusatzheizung einsetzt, ist in der Regel – innerhalb eines gewissen Bereichs – vorgebar. Aus diesen Gründen wird in dieser Studie, sofern nicht anders angegeben, davon ausgegangen, dass die Leistungsaufnahme des elektrischen Heizsystems auf $4,5\text{ kW}$ kontinuierlich (Minibus) bzw. $8,7\text{ kW}$ begrenzt ist und bei tieferen Temperaturen, die größere Heizleistungen erfordern, die Brennstoff-Zusatzheizung (Bio-Diesel, Bio-Ethanol) betrieben wird.

Die übrigen Nebenverbraucher wurden mit kontinuierlich $0,5\text{ kW}$ (Minibus) bzw. 1 kW (Midibus) während der Linien- und Leerfahrten angenommen.

2.3 Analyse des aktuellen Einsatzkonzeptes

Abbildung 4 zeigt für den aktuellen Fahrzeugumlauf die simulierten Ladezustandsverläufe für einen elektrischen Minibus (90 kWh -Batterie) ohne Nachladung für zwei Szenarien. Das erste Szenario stellt den „Normalfall“ dar (neue Batterie, mäßig hoher Nebenverbrauch), das zweite den „worst case“ (80% Restkapazität der Batterie aufgrund von Alterung, hoher elektrischer Heizbedarf im Winter). Die Batteriekapazität reicht in beiden Szenarien nicht aus, der Ladezustand fällt unter 0% .

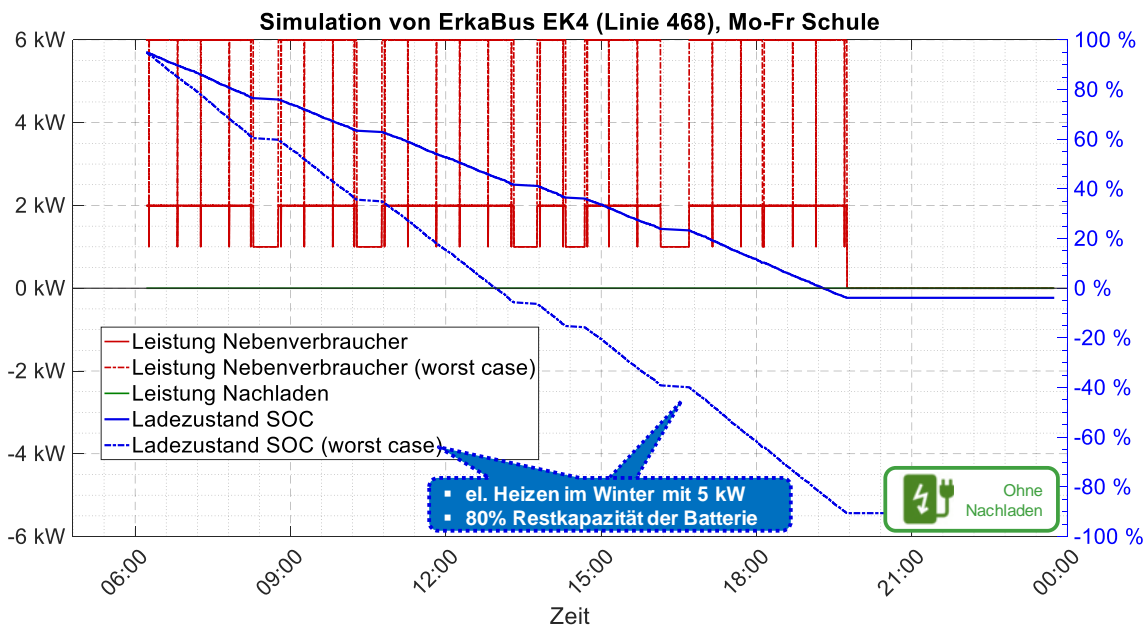


Abbildung 4 – Ladezustandsverlauf des Batteriesystems ohne Nachladen (el. Minibus)

Abbildung 5 zeigt dieselben Szenarien wie zuvor, allerdings wird in den planmäßigen Pausen auf dem Betriebshof mit einer Ladeleistung von 44 kW nachgeladen. Entsprechend steigt der Ladezustand (blaue und blau-gestrichelte Kurven) während der Ladephasen an. Er kann im „Normalfall“ in einem gültigen Fenster gehalten werden. Für das „worst case“-Szenario reicht die Batteriekapazität allerdings nicht aus und der Ladezustand fällt unter 0 %.

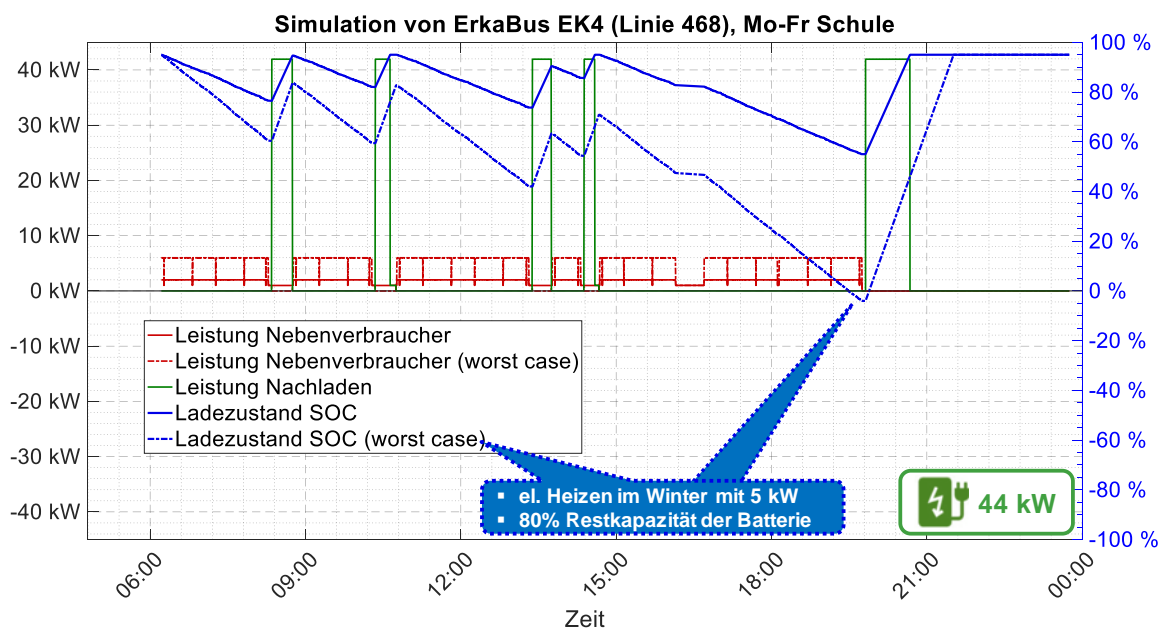


Abbildung 5 – Ladezustandsverlauf des Batteriesystems mit Nachladen (44 kW) während der planmäßigen Betriebshofaufenthalte (el. Minibus)

Aus diesen Untersuchungen wird deutlich, dass das Einsatzkonzept des noch auszuwählenden Elektrobusses auf die technischen Spezifikationen, insbesondere Batteriekapazität und Ladeleistung, und auf den Energieverbrauch angepasst werden sollte. Gleichzeitig wird offensichtlich, dass eine größere Batteriekapazität Vorteile bieten kann. Dies ist dann der Fall, wenn die Möglichkeit, eine längere Strecke ohne Nachladung zurückzulegen, den Vorteil bringt, mehr Linienfahrten der ErkaBus-Linie am Tag abzudecken. Eine größere Ladeleistung führt zu kürzeren nachladungsbedingten Stillstandszeiten und kann somit ebenso dazu beitragen, dass der Elektrobuss eine größere Anzahl an Linienfahrten übernehmen kann.

3. Anbieteridentifikation

3.1 Übersicht

Fast alle europäischen Bushersteller bieten aktuell Elektrobusse in den Gefäßgrößen „Solobus“ und „Gelenkbus“ an oder haben zumindest verkündet, dies in absehbarer Zeit zu tun. Zurzeit gibt es eine Reihe von Anbietern batterie-elektrisch angetriebener Solobusse mit dem Ladekonzept Ladung im Depot. Insbesondere sind Solaris, VDL Bus & Coach, BYD, Ebusco und Sileo zu nennen. Weitere Anbieter sind ebe Europa (eher Charakter eines Konsortiums als eines etablierten Herstellers), Bolorré / BlueBus (französischer Hersteller, bisher ohne deutschen Marktzugang), Euracom (Importeur für chinesische Busse). Weitere Anbieter vom europäischen Festland ohne Marktzugang in Deutschland bisher sind Skoda (Tschechien), SOR (Tschechien), Ursus Bus (Polen) und Irizar (Spanien). Hess, Volvo und Van Hool sind in Deutschland mit batterie-elektrischen Bussen vertreten, fokussieren sich allerdings auf Gelegenheitsladen (kleinere Batterien, Laden an den Endhaltestellen oder an liniennahen Orten während des Betriebs). Aktuell bieten die großen Bushersteller Daimler/EvoBus und MAN noch keine Elektrobusse an. EvoBus plant, in 2019 die ersten Fahrzeuge auszuliefern, MAN in 2020. Für das Jahr 2030 erwartet MAN einen Elektrobus-Anteil von ca. 60% am europäischen Stadtbusmarkt.

Elektrobusse kleinerer Gefäßgrößen sind zurzeit noch deutlicher weniger am Markt vertreten. Elektrische „Midibusse“ (ca. 8 m bis knapp 11 m Länge) werden unter anderem von Solaris, VDL Bus & Coach und Sileo angeboten und basieren meistens auf den Modellen der größeren Fahrzeuge (12 m Solobusse). Die Ladegeräte sind stationär. Die Bushersteller VDL, Solaris, Ebusco, Volvo und Irizar sowie die Ladegeräthersteller ABB, Heliox und Siemens haben sich auf offene Ladeschnittstellen geeinigt (Steckerlösung mittels CCS Combo 2; Pantographenlösung), um Kompatibilität zwischen Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur zu ermöglichen. Entsprechende Normungsaktivitäten laufen zurzeit. Es wird erwartet, dass sich die anderen Hersteller dem Ergebnis anpassen werden.

Elektrische „Minibusse“ (bis ca. 8 m Länge, „Sprinter-Größe“) werden von den Originalherstellern der etablierten Dieselfahrzeuge noch nicht angeboten. Hier bieten verschiedene Drittfirmen Umbauten an (sog. „Retrofits“). Diese basieren auf Dieselmotoren – meistens Mercedes Benz Sprinter oder ähnliche Fahrzeuge anderer Hersteller –, die auf elektrischen Antriebsstrang inkl. Batteriesystem und fahrzeugseitigem Ladegerät („Onboard-Ladegerät“) umgerüstet werden. Die Drittfirmen unterscheiden sich stark in ihrer Größe, Etablierung und erwartbarer Beständigkeit am Markt und damit auch erwartbarer Zuverlässigkeit hinsichtlich After-Sales-Service. Als wichtigster Anbieter ist aufgrund ihrer Erfahrung mit Elektrobusen (größerer Gefäßgrößen) und Etablierung am Markt die Firma VDL Bus & Coach zu nennen. Mercedes Benz hat angekündigt, ca. gegen Ende 2018 einen elektrischen Sprinter anzubieten. Da die

Ladegeräte im Fahrzeug installiert sind, wird lediglich ein dreiphasiger Niederspannungsanschluss benötigt (Typ2-Stecker). Die Fahrzeuge können also an gängigen Steckdosen geladen werden (Flexibilität). Die angebotenen Ladeleistungen sind 22 kW oder 44 kW.

Elektrobusse in Zwischengrößen (keine Umbauten) werden zum Beispiel von Rampini (italienischer Hersteller) und von BredaMinarinibus (italienischer Hersteller in Bologna, im überwiegenden Besitz der chinesischen King Long-Unternehmensgruppe) angeboten.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über verfügbare Mini- und Midibusse. Mit Hinblick auf den Einsatz auf der ErkaBus-Linie in Erkelenz und unter der Maßgabe des Erreichens einer möglichst hohen elektrischen täglichen Laufleistung ist die technische Performance von hoher Relevanz. Insbesondere ist das Verhältnis von nutzbarer Batteriekapazität (Reichweite) und Ladeleistung (Ladedauer) zur Fahrzeugmasse (Energieverbrauch) entscheidend. Hier sind insbesondere auf elektrischen Antrieb umgerüstete Minibusse (z.B. auf Basis MB Sprinter, max. 5,5 t) mit 90 kWh Batteriekapazität und 44 kW Ladeleistung zu nennen. Darüber hinaus kommen elektrische Midibusse mit großen Batteriekapazitäten von ca. 180 kWh und hohen Ladeleistungen in Betracht.

Wenn auch bei sehr tiefen Umgebungstemperaturen – ggf. sogar in Verbindung mit einer ausnahmsweisen Abstellung über Nacht im Freien – rein elektrisch geheizt werden soll, führt der hohe Energiebedarf schnell zu einer sehr stark überdimensionierten Systemauslegung (bzw. zu einem sehr konservativen Einsatzkonzept). Neben der elektrischen Hauptheizung ist daher eine zusätzliche Brennstoff-Zusatzheizung zu empfehlen, um die Einhaltung der Reichweite auch in solchen (Ausnahme-)Situationen zu gewährleisten (Planbarkeit). Diese würde nur an einzelnen Tagen im Jahr benötigt werden. Als Alternative zu Heizöl als Brennstoff bieten viele Hersteller (z.B. Webasto, Eberspächer) Heizungen mit Bio-Ethanol an, welche u.a. beispielsweise EFA-S in ihrem elektrischen Minibus verbaut.

Neben diesen technischen Performance-Spezifikationen erscheinen weitere Entscheidungskriterien zur Auswahl des Buslieferanten sinnvoll, z.B. die Beständigkeit des Anbieters und die Zuverlässigkeit der Ersatzteilversorgung. Kriterien sind insbesondere:

- das Bestehen eines soliden Kerngeschäfts neben dem Elektrobusbereich (z.B. konventionelle Busse), und damit Verlässlichkeit hinsichtlich des zukünftigen Fortbestehens des Anbieters während der geplanten Einsatzdauer der Fahrzeuge
- die Kompatibilität mit verschiedenen Ladegeräten bzw. mit Ladegeräten verschiedener Hersteller (Möglichkeit zur separaten Beschaffung von Ladeinfrastruktur, beispielsweise bei weiterem Ausbau der Elektrobussflotte in den kommenden Jahren)
- bereits vorhandene Erfahrungen in der Branche mit Fahrzeugen des entsprechenden Herstellers

- Erfahrung des Herstellers im Bereich Elektrobusse (Vermeiden von „Kinderkrankheiten“), Dauer des Bestehens im Markt und Seriosität der Aussagen des Herstellers über die Performance seiner Fahrzeuge

In Absprache mit west wurden für die Betrachtungen in den nachfolgenden Kapiteln die folgenden Fahrzeugkonfigurationen ausgewählt:

- elektrischer Minibus 5,5 t mit 90 kWh Batteriekapazität und 44 kW Ladeleistung (z.B. VDL MidCity electric)
- elektrischer Midibus 12 t mit 120 kWh und mit 180 kWh Batteriekapazität und 44 kW und 120 kW Ladeleistung (z.B. Solaris Urbino 8.9 LE und VDL VDL Citea LLE 99)

Anbieteridentifikation

Hersteller	Bezeichnung	zugrundeliegendes Basisfahrzeug	Fahrgastkapazität	Batteriekapazität (kWh)	Anmerkungen
VDL Bus & Coach	MidCity electric (Minibus)	Mercedes Benz Sprinter (3,5 t)	8+1	90 kWh	Umbau ab ca. 81.000 € (Kostenschätzung von VDL, unverhandelt) Lieferung frühestens Mitte '18
VDL Bus & Coach	MidBasic electric (Minibus)	Mercedes Benz Sprinter (5,5 t)	24+1	90 kWh	Lieferung frühestens Mitte '18
VDL Bus & Coach	Citea LLE 99 (Midibus)	-	61	180 kWh	ca. 410.000 €; 12 Stück seit 12.2016 im Einsatz in Venlo
Solaris	Urbino 8.9 LE (Midibus)	-	62	120 kWh	ca. 430.000 €; erstes Fahrzeug des Typs 2013 ausgeliefert
Rampini	E 80 (Zwischengröße / Midibus)	-	40	96 kWh	
Sileo	S 10	-	72	200 kWh	
German E-Cars	„Medebus“ / „Winbus“ (Minibus)	Mercedes Benz Sprinter (3,5 t)	8+1		zurzeit nicht verfügbar aufgrund von Insolvenz
Breda-Minarini	Zeus M 200 E (Zwischengröße)	-	22+1	57 kWh	219.000 € (2011); eingesetzt in Osnabrück http://www.bustocoach.com/en/content/br edamenarinibus-zeus-m-200-e-59-metres-electric-class-i-1-door
Bushandel .ch	IVECO 70C17 (Minibus)	IVECO	21+1	88 kWh oder 110 kWh	Einzelanfertigung https://www.bushandel.ch/fahrzeuge-nach-varianten/elektrobus/elektrobus-iveco-70c17/
B-style & Flex-i-Trans	FitSystemPro (Minibus)	Mercedes Benz Sprinter (5,5 t)		90 kWh	245.000 € (Basisfahrzeug inkl.); kein Umbau mehr für Endnutzer (Verkehrsbetriebe)
EFA-S (Fa. Orten)	(Minibus)	Mercedes Benz Sprinter (5,5 t)	22+1	72 kWh	bisher erst 2 einzelne Fahrzeuge umgebaut; Kosten für Umbau: ca. 85.000 €; Vertrieb durch Firma Orten (Nähe Trier) http://www.orten.com/ www.electric-trucks.de

Tabelle 3 – Übersicht batterie-elektrische Mini- und Midibusse

(Die mit dem schwarzen Querstrich abgetrennte untere Hälfte beinhaltet Einzelanfertigungen / Prototypen. Fahrzeuge in der oberen Hälfte sind als „seriennäher“ anzusehen.)

3.2 VDL Bus & Coach

VDL Bus & Coach ist ein Teil der VDL Groep in den Niederlanden, einem nach eigenen Angaben aus 90 Einzelbetrieben bestehenden Familienunternehmen mit zusammen 13.000 Mitarbeitern und einem Umsatz von 3,2 Milliarden Euro in 2016. VDL Bus & Coach war bis vor wenigen Jahren der einzige Bushersteller in den Niederlanden. VDL bietet mit ihrem Citea SLF 120 Electric sowohl Depotlader- als auch Gelegenheitslader-Konzepte mit verschiedenen Batteriegrößen, Antriebskonfigurationen und Ladekonzepten an. Das Kerngeschäft von VDL im Busbereich sind Dieselmotoren. In 2015 konnte VDL 23 Elektrobusse ausliefern. In 2016 waren es 92 (sowohl Solo- als auch Gelenkbusse), und für 2017 sind mehr als 200 geplant. Hauptabsatzmarkt sind die Niederlande (Eindhoven). In Deutschland fahren Elektrobusse von VDL in Münster (5) und in Köln (8).

VDL bietet bereits einen elektrischen Minibus auf Basis eines Sprinter-Dieselmotors mit 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht und einer Fahrgastkapazität von 8 Personen an („MidBasic Electric“). Für Ende 2017 war zunächst ein größerer elektrischer Minibus, der „MidCity Electric“ angekündigt, welcher ein zulässiges Gesamtgewicht von 5,5 t aufweist und für eine Fahrgastkapazität von maximal 24 Personen ausgewiesen ist. Das Batteriesystem mit einer Nennkapazität von 90 kWh soll von der österreichischen Firma Kreisel (Batteriepack-Hersteller bei Linz) geliefert werden, das Onboard-Ladegerät ist mit einer Ladeleistung von wahlweise 22 kW oder 44 kW angekündigt. Zuletzt wurde von VDL eine frühestmögliche Auslieferung für Q2-2018 genannt. Grund seien Produktionsumstellungen bei der Firma Kreisel und damit verbundene Lieferengpässe der Batteriesysteme (nicht vor Q1-2018 erwartet).

Darüber hinaus bietet VDL einen elektrischen Midibus unter der Bezeichnung „VDL Citea LLE 99“ an. Das Batteriesystem wird von der Firma DuraPower geliefert und umfasst eine Kapazität von 180 kWh. Das Heizsystem des Fahrzeugs wird aktuell mit Heizöl betrieben. Nach Aussage von VDL könnte dieses allerdings auch durch eine Hybridheizung bestehend aus elektrischer Heizung und fossilem Zusatzheizer ersetzt werden, um ein elektrisches Heizen bei moderaten Temperaturen zu ermöglichen. Im Gegensatz zum Minibus kann der Midibus mit einem Schnellladesystem mit bis zu 270 kW ausgestattet werden. Die Firma Heliox ist beispielsweise ein Hersteller der zugehörigen Ladegeräte. Seit Dezember 2016 sind Midibusse des Typs Citea LLE 99 in der niederländischen Stadt Venlo im Einsatz.

3.3 Solaris

Solaris ist ein polnischer Hersteller von Bussen, Trolleybussen und Straßenbahnen mit nach eigenen Angaben über 14.000 verkauften Fahrzeugen. Die Mitarbeiterzahl wird mit 2.300 in Polen zzgl. 500 in Vertriebsbüros weltweit angegeben.

Solaris bietet Elektrobusse in verschiedenen Größen (8,9m, 12m, 18m) und mit verschiedenen Ladekonzepten an. Solaris verkauft seit 2011 batterie-elektrische Busse und ist neben VDL der

Bushersteller mit den meisten in den Markt gebrachten batterie-elektrischen ÖPNV-Bussen auf dem europäischen Festland (über 40 bis 2016). In den DACH-Ländern fahren Solaris-Elektrobusse beispielsweise in Berlin (4), Braunschweig (6), Oberhausen (2) und Klagenfurt (1).

Die Midi-Variante eines Elektrobusses wird von Solaris als „Urbino 8.9 LE“ bezeichnet und ist die kleinste der drei genannten Fahrzeuggrößen. Das Modell wird seit 2013 vertreiben. Das eingebaute Batteriesystem ist eine Entwicklung von Impact Clean Power Technology (ICPT, Sitz in Polen) und Solaris. Die Batteriekapazität umfasst 120 kWh (3 Module mit je ca. 40 kWh). Die Leistung des elektrischen Motors liegt bei 120 kW. Das Fahrzeug bietet Platz für 62 Fahrgäste.

3.4 Sileo

Die Sileo GmbH ist ein 2014 gegründeter deutsch-türkischer Bushersteller, die zur Unternehmensgruppe Bozankaya gehört. Der Firmensitz liegt in Salzgitter. Sileo produziert ausschließlich elektrifizierte Busse. Diese sind unter anderem in Bonn (6) und in Aachen (1; 13 weitere geplant) im Einsatz.

Sileo verbaut vergleichsweise große Batteriezellen (200 Ah), und zwar ausschließlich auf dem Dach. Die Zellen sind laut Angaben des Herstellers einfach austauschbar.

Sileo bietet Busse in drei verschiedenen Größen an: 10,7 m, 12 m und 18 m. Die Midi-Variante wird als „Sileo S10“ bezeichnet und stellt die kleinste Größe der Fahrzeugtypen dar. Sie bietet Platz für 25 Sitz- und 65 Stehplätze. Die Batteriekapazität beträgt 200 kWh. Sileo garantiert für dieses Modell eine Reichweite von 200 km.

Ein Nachteil ist die fehlende Heizung für die Batteriezellen, welches an besonders kalten Tagen zu Problemen (eingeschränkte Reichweite, reduzierte Ladbarkeit) führen könnte.

Zudem ist eine weitere Besonderheit die Pinbelegung der von Sileo verwendeten CCS-Ladestecker, welche von der Pinbelegung öffentlicher Ladesäulen und der der übrigen Hersteller (siehe VDL und Solaris) abweicht, sodass die Fahrzeuge zurzeit nur kompatibel mit Sileo-Ladegeräten sind. Sileo legt die Schnittstelle allerdings offen, so dass potentiell andere Hersteller kompatible Ladegeräte anbieten können.

Sileo bietet Busse in drei verschiedenen Größen an: 10,7 m, 12 m und 18 m. Die Midivariante wird als „Sileo S10“ bezeichnet und stellt die kleinste Größe der Fahrzeugtypen dar. Sie bietet Platz für 25 Sitz- und 65 Stehplätze. Die Batteriekapazität beträgt 200 kWh. Sileo garantiert für dieses Modell eine Reichweite von 200 km, allerdings, wie oben bereits erwähnt, unter Einsatz einer rein fossilen Heizung.

3.5 Weitere Anbieter für Umbauten und für Zwischengrößen

Die weiteren Ergebnisse des Marktscreenings werden in diesem Unterkapitel dargestellt. Während der Recherche wurden mehrere Firmen gefunden, die Fahrzeuge auf einen elektrischen Antriebsstrang umrüsten (sog. „Retrofitting“). Eine davon ist die EFA-S GmbH („Elektro-Fahrzeuge Stuttgart“). Diese arbeitet in Kooperation mit der Firma Orten, die den Vertrieb und die After-Sales-Geschäfte durchführt und ihren Firmensitz bei Trier hat. Nach Zurverfügungstellung eines Mercedes Benz Sprinters baue EFA-S nach eigenen Angaben das Fahrzeug innerhalb von 20 Wochen für einen Preis von etwa 85.000 € um. Das Fahrzeug wird mit einer 72 kWh Batterie, einem Elektromotor mit 90 kW und einem Onboard-Ladegerät von wahlweise 22 bzw. 44 kW ausgestattet. Bisher hat die Firma zwei Fahrzeuge umgebaut.

B-style & Flex-i-Trans BV ist eine niederländische Umbaufirma, die bisher die 5,5 t Variante des Mercedes Benz Sprinters umgebaut hat. Diese Variante bietet Platz für 22 Fahrgäste und wird mit einer Batteriekapazität von ca. 90 kWh ausgestattet. Nach eigenen Aussagen hat B-style & Flex-i-Trans Anfang 2017 den Umbau von Fahrzeugen für Verkehrsbetriebe eingestellt und widmet sich ausschließlich den Dienstleistungen für OEMs und Drittfirmen.

German E-Cars GmbH hat einen Mercedes Benz Sprinter umgebaut, der als Bürgerbus und unter den Bezeichnungen „MedeBus“ und „WinBus“ bei der Regionalverkehr Ruhr-Lippe GmbH (RLG) im Sauerland im Einsatz ist. Die Batteriekapazität beträgt hier 38,8 kWh und wird mit einem 85 kW Elektromotor betrieben. Aktuell sind aufgrund von Insolvenz keine Umbauten durch die Firma möglich.

Bushandel.ch ist eine im Jahr 2003 gegründete Firma, die sich auf den Umbau und Verkauf von Klein- und Midibussen spezialisiert hat und offenbar einen ca. 8 m langen IVECO 70C17 mit elektrischem Antrieb anbietet. Die Batteriekapazität von 88 bzw. 110 kWh.

BredaMinarini bietet elektrifizierte Busse in Zwischengrößen an. Beispielsweise ist an dieser Stelle das Modell „Zeus M 200 E“ zu nennen, das 5,9 m lang ist. Mit einer Batteriekapazität von 57 kWh wird ein Elektromotor mit 30 kW kontinuierlicher Leistung betrieben. Das Fahrzeug bietet 7 Sitz- und 18 Stehplätze und war in Osnabrück im Einsatz.

Der italienische Hersteller Rampini bietet Elektrobusse in drei verschiedenen Größen an: 6 m, 7,8 m und 12m. Als Midibus kann hier der „Alé E80“ in Betracht gezogen werden. Das Fahrzeug ist das zweitgrößte aus dem elektrifizierten Produktportfolio und bietet Platz für 40 Passagiere. Die Batteriekapazität beträgt 96 kWh, die maximale Antriebsleistung 150 kW. In Wien fahren seit einigen Jahren 12 Fahrzeuge dieses Typs, in Regensburg sind seit ein paar Monaten 5 Fahrzeuge im Einsatz.

4. Einsatzkonzept

In Kapitel 2 wurde gezeigt, dass das verwendete Einsatzkonzept spezifisch auf die technischen Spezifikationen angepasst werden sollte. Keine der untersuchten Fahrzeugkonfigurationen ermöglicht einen Betrieb über den vollen Tag, alle benötigen zusätzliche Ladezeit im Betriebshof. In diesem Kapitel werden Anpassungen am Fahrzeugumlauf für die verschiedenen Fahrzeugkonfigurationen vorgenommen und analysiert.

Ziel ist es zunächst, mit dem Elektrobus möglichst viel Fahrleistung erbringen zu können (Substitution möglichst vieler „Diesel-Kilometer“ durch „Elektro-Kilometer“), also möglichst wenig Stillstand zu erreichen und möglichst selten zurück in den Betriebshof fahren zu müssen.

Im Folgenden werden Simulationsergebnisse für verschiedene Szenarien dargestellt. Sie unterscheiden sich in der betrachteten Fahrzeugkonfiguration (Minibus und Midibus) und dem angenommenen Nebenverbrauch für den elektrischen Anteil an der Heizleistung (moderate Außentemperaturen und sehr kalte Außentemperaturen, siehe Kapitel 2.2). Der Linienbetrieb beginnt kurz nach 6 Uhr morgens und dauert bis ca. 19:45 Uhr. Die Fahrzeugbatterien werden ausschließlich im Betriebshof geladen. Der Fahrzeugumlauf wurde jedes Mal energetisch angepasst. Dies bedeutet, dass, je nach Energieverbrauch und technischer Performance (Batteriekapazität und Ladeleistung), Betriebshofaufenthalte während des Tages zwecks Nachladung eingefügt wurden.

Abbildung 6 zeigt die Ladezustandsverläufe des Minibusses für moderate Außentemperaturen, und zwar einmal für eine Batterie mit voller Anfangskapazität („neue Batt.“) und einmal für eine gealterte Batterie mit 80 % Restkapazität („gealt. Batt.“). Neben der Ladephase am Ende des Fahreinsatzes (ab ca. 19:45 Uhr) ist eine Ladephase während des Tages nötig (hier etwa zwischen 13:45 und 15:30 Uhr), ohne die die in der Batterie speicherbare Energie nicht ausreichen würde.

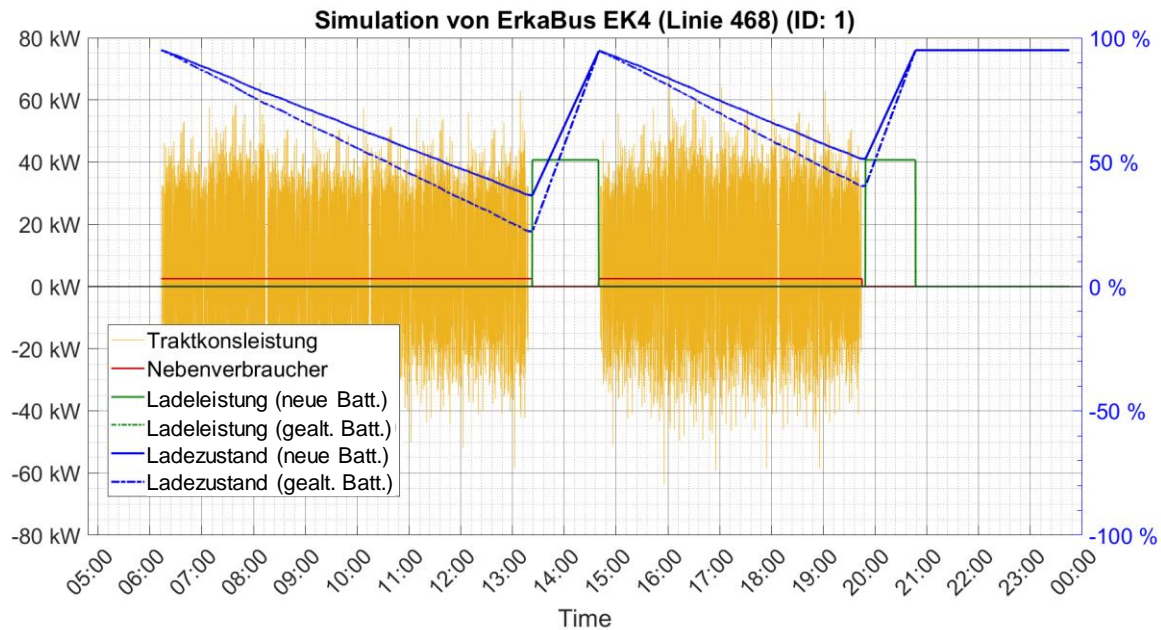


Abbildung 6 – Minibus (90 kWh, 44 kW), Umlauf angepasst an „Normalfall“ (moderate Außentemperaturen)

Neben der effektiv nutzbaren Restkapazität der Batterie hat der elektrische Energieverbrauch für das Heizen bei sehr kalten Außentemperaturen Einfluss auf die Anzahl und die Dauer der nötigen Ladephasen auf dem Betriebshof und damit auch auf die Anzahl der Linienfahrten der ErkaBus-Linie, die das Fahrzeug absolvieren kann (Nutzkilometer pro Tag). Da davon ausgegangen wird, dass die Einsatzpläne nicht dynamisch mit dem Wetter angepasst werden, wird im Folgenden für jede Fahrzeugkonfiguration ein Einsatzkonzept in Form eines Umlaufplans inkl. Ladephasen vorgeschlagen, welches im „worst case“, also bei gealterter Batterie (80 % Restkapazität) und dem höchsten angenommenen elektrischen Energieverbrauch für Heizen (sehr kalte Außentemperaturen, siehe Kapitel 2.2), energetisch noch machbar ist.

Abbildung 7 zeigt das Simulationsergebnis für die gleiche Fahrzeugkonfiguration wie zuvor in Abbildung 6, für einen Umlauf, der an den „worst case“ angepasst wurde. In diesem Fall ist tagsüber ein zweiter Betriebshofaufenthalt zur Nachladung energetisch nötig, währenddessen der Elektrobus keine Linienfahrt der ErkaBus-Linie übernehmen kann.

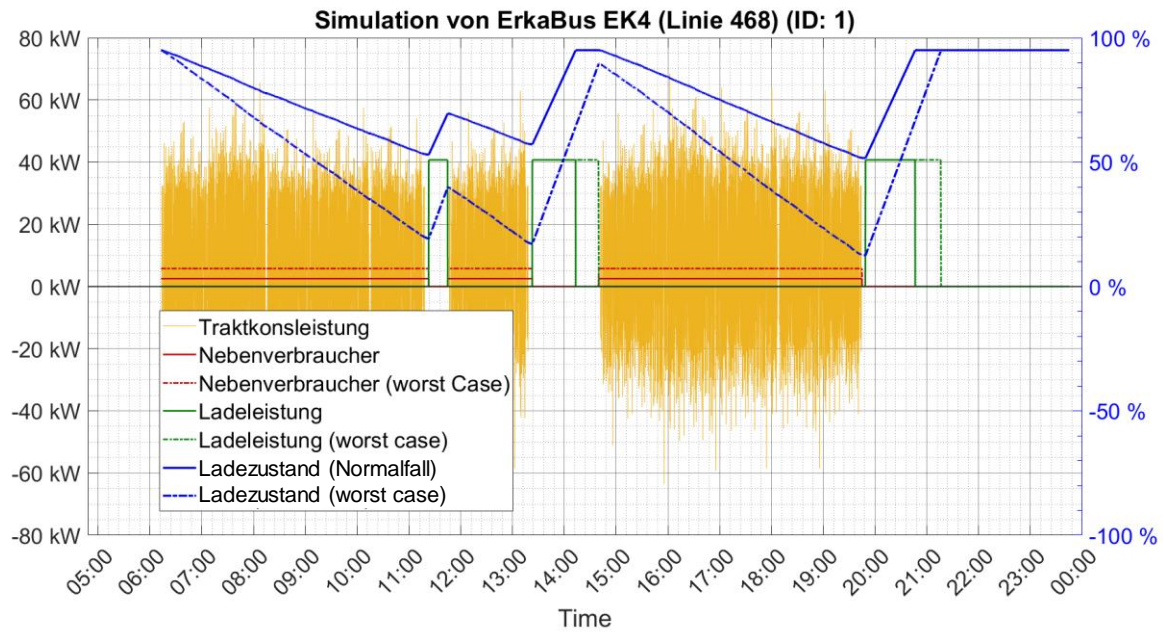


Abbildung 7 – Minibus (90 kWh, 44 kW), Umlauf angepasst an „worst case“ (sehr kalte Außentemperaturen, 80 % Restkapazität)

Abbildung 8 zeigt das Simulationsergebnis für einen Midibus mit 120 kWh Batteriekapazität bei tiefen Außentemperaturen. Aufgrund des gegenüber dem Minibus höheren Gewichts und Heizbedarfs verbraucht das Fahrzeug insgesamt mehr Energie. Die Ladeleistung wurde hingegen nicht erhöht, sondern wurde weiterhin zu 44 kW angenommen. Mit diesen Randbedingungen ist eine dritte Ladephase während des Tages nötig, was dazu führt, dass das Fahrzeug noch weniger Linienfahrten übernehmen kann als in den Szenarien zuvor.

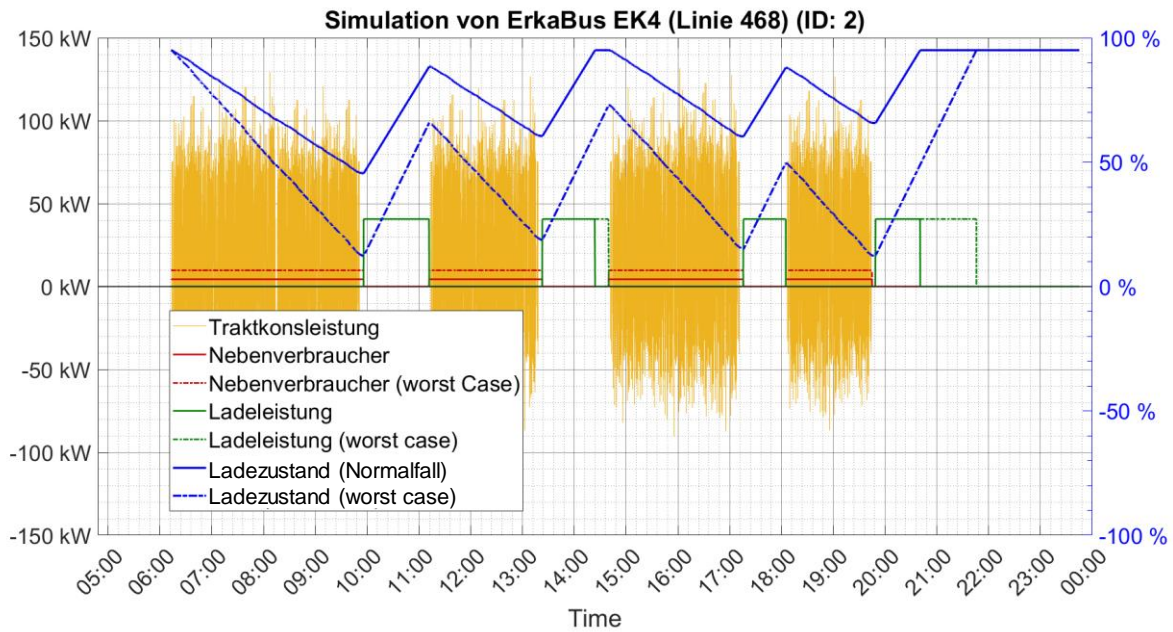


Abbildung 8 – Midibus (120 kWh, 44 kW), Umlauf angepasst an „worst case“ (sehr kalte Außentemperaturen, 80 % Restkapazität)

Abbildung 9 zeigt das Ergebnis für einen Midibus mit 180 kWh Batteriekapazität (Ladeleistung weiterhin 44 kW). In diesem Fall kommt das Fahrzeug mit einer Ladephase im Betriebshof aus. Diese ist allerdings länger als die in den Szenarien zuvor, da die vor der Ladephase verbrauchte, jetzt zurückzuladene Energie größer ist, die Ladeleistung aber die gleiche wie in den Szenarien zuvor ist.

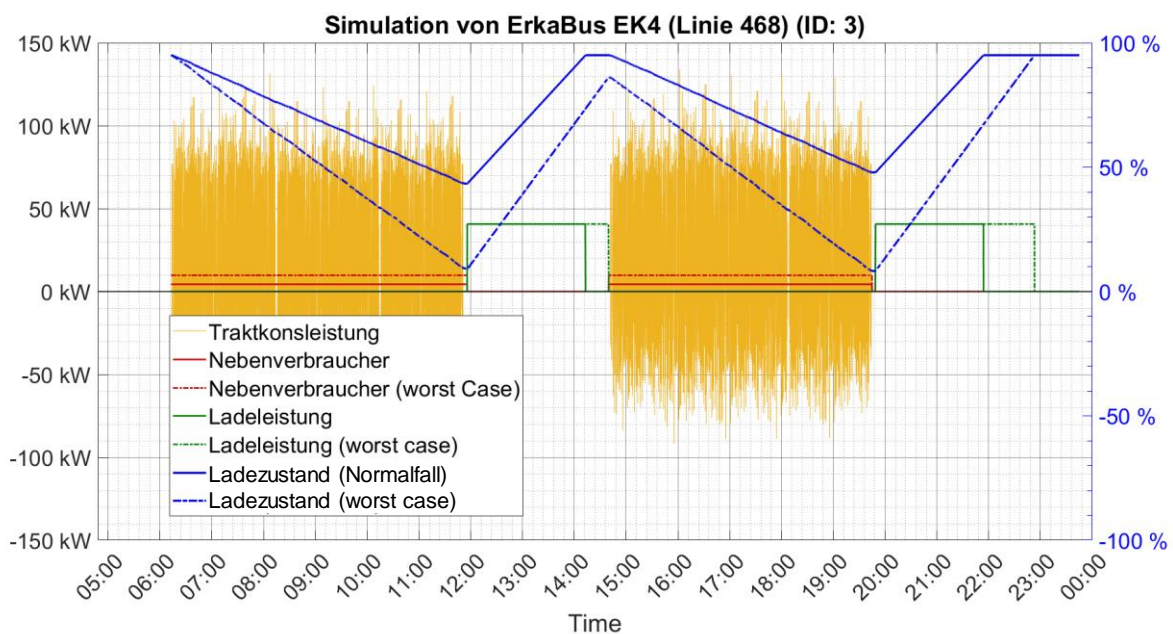


Abbildung 9 – Midibus (180 kWh, 44 kW), Umlauf angepasst an „worst case“ (sehr kalte Außentemperaturen, 80 % Restkapazität)

Die Verwendung eines 120 kW-Ladegeräts (zurzeit maximal erreichbare Ladeleistung bei Verwendung eines Kabels mit gängigem CCS-Stecker²) zum Nachladen des gleichen Midibusses (180 kWh) würde zu geringerer Stillstandszeit führen und somit dem Fahrzeug ermöglichen, mehr Linienfahrten zu übernehmen. Insgesamt würde dadurch mehr Energie verbraucht und somit eine zweite (kurze) Ladephase im Betriebshof tagsüber nötig werden. Dies entspricht dem in Abbildung 7 für den Midibus dargestellten Fahrzeugumlauf.

Die Fahrzeugkonfiguration des Minibusses mit 120 kWh Batteriekapazität wurde aus den folgenden Betrachtungen (Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Betrachtung des Emissionseinsparungspotentials) ausgeschlossen, da sie, wie oben dargelegt, deutliche betriebliche Nachteile hat, gleichzeitig aber keine erkennbaren Kostenvorteile bietet (vergleiche Kostenbeispiele für entsprechendes Fahrzeug in Tabelle 3).

² “ Combined Charging System“

5. Emissionseinsparungspotential und Gesamtnutzungskosten

Im vorangegangenen Kapitel wurden Einsatzkonzepte für verschiedene Elektrobuskonfigurationen vorgestellt und diskutiert. Diese dienen in diesem Kapitel als Grundlage zur Berechnung des Emissionseinsparungspotentials und der Gesamtnutzungskosten (Total Cost of Ownership, TCO). Parallel zu den Kosten und Umweltauswirkungen des Elektrobuseinsatzes werden auch die Kosten für einen Dieselseinsatz mit Fahrzeugen der aktuellen Emissionsklasse Euro VI ermittelt (Dieselbus-Referenzszenario). Tabelle 4 stellt die vier betrachteten Szenarien vor.

Szenario-bezeichnung	Fahrzeug	Batteriekapazität	Ladeleistung	Zugrundeliegendes Einsatzkonzept	Kommentar
Diesel	Minibus (Diesel)	-	-	Zurzeit gefahrener Umlauf (siehe Kapitel 2)	Referenzszenario (Euro VI)
Mini	Minibus (elektrisch)	90 kWh	44 kW	Abbildung 7 (2 Ladephasen während des Tages)	
Midi (44 kW)	Midibus (elektrisch)	180 kWh	44 kW	Abbildung 9 (1 Ladephase während des Tages)	
Midi (120 kW)	Midibus (elektrisch)	180 kWh	120 kW	vgl. Abbildung 7 (2 Ladephasen während des Tages)	

Tabelle 4 – Übersicht über die für die Emissionsbetrachtung und TCO-Rechnung betrachteten Szenarien

Tabelle 5 zeigt die den nachfolgenden Berechnungen zugrundeliegenden Einsatzstatistiken dieser Szenarien. Es wird stets davon ausgegangen, dass das zugrundeliegende Einsatzkonzept (Umlaufplan) an 261 Tagen im Jahr (Tagesart „Mo-Fr“) gefahren wird und an den restlichen Tagen (Wochenenden) kein Betrieb stattfindet.

Szenario	Zeitraum	Liniendienst	Fahrleistung	Fahrerstunden
Diesel	8 a	55.519 km/a	58.712 km/a	2.912 h/a
Mini	8 a	59.250 km/a	62.129 km/a	3.030 h/a
Midi(44kW)	10 a	54.721 km/a	57.443 km/a	2.769 h/a
Midi(120kW)	10 a	59.250 km/a	62.129 km/a	3.030 h/a

Tabelle 5 – Übersicht über Einsatzstatistik der betrachteten Szenarien

Der Betrachtungszeitraum wurde in Absprache mit west entsprechend der Abschreibungszeiträume der Fahrzeuge zu 8 Jahren (Szenarien mit Minibussen) und 10 Jahren (Szenarien mit Midibussen) festgelegt. Den Szenarien „Mini“ und „Midi(120kW)“ liegt, wie oben bereits erwähnt, der gleiche Umlauf zugrunde, weswegen Liniendienst, Gesamtfahrleistung und Fahrerstunden jeweils gleich sind. Alle Szenarien kommen auf eine mit dem Dieselbus-Referenzszenario vergleichbare Liniendienst-Kilometeranzahl. Wie in Kapitel 5.1.7 beschrieben wird für die zu bezahlende Fahrerzeit die reine Fahrzeit (Linien- und Leerfahrten) gezählt.

5.1 Annahmen für die TCO- und Emissionsbetrachtungen

Sämtliche in diesem Bericht genannten Kostenzahlen sind exklusive Mehrwertsteuer.

5.1.1 Methodik

Für die Berechnung der Kosten wird die Barwert- und die Annuitätenmethode verwendet. Dies bedeutet, dass die Kosten zunächst als quartalsscharfe Zahlungsflüsse berechnet werden (insbesondere Relevant bei den sich über den Betrachtungszeitraum ändernden Energiekosten und bei Ersatzbeschaffungen von Batteriesystemen und Ladegeräten) und dann auf den Bezugszeitpunkt $T_0 = 2018$ abgezinst werden (Barwert) bzw. auf konstante Annuitäten auf-/abgezinst werden. In Abstimmung mit west wird hierfür ein effektiver Zinssatz von 4 % angenommen. Der Betrachtungszeitraum ist entsprechend dem Abschreibungszeitraum der Fahrzeuge 8 Jahre für Minibusse (Szenarien „Diesel“ und „Mini“) und 10 Jahre für Midibusse (Szenarien „Midi (44 kW)“ und „Midi (120 kW)“).

5.1.2 Fahrzeugkosten und Restwerte

Anschaffungskosten für moderne Euro VI-Dieselbusse (Mercedes Benz Sprinter) liegen zurzeit bei ca. 120.000 €.

Für die Umrüstung eines Minibusses wurden von Anbietern ca. 85.000 € genannt (siehe Tabelle 3; 90 kWh-Batterie und fahrzeugseitiges 22 kW-Ladegerät inkludiert). Für die Verwendung eines 44 kW-Ladegeräts anstatt des 22 kW-Ladegeräts wird noch einmal von zusätzlichen Kosten in Höhe von 15.000 € ausgegangen. In Summe kostet ein elektrischer Minibus somit 220.000 €. Die darin enthaltenen Kosten für das Batteriesystem, welche mit 63.000 € abgeschätzt werden (700 €/kWh), sind in der weiter unten folgenden Ergebnisauswertung nicht der Kategorie „Fahrzeuge“, sondern „Batteriesysteme“ zugeordnet.

Der elektrische Midibus wird mit 410.000 € angesetzt (180 kWh-Batterie inkludiert). Die darin enthaltenen Kosten für das erste Batteriesystem, welche mit 126.000 € abgeschätzt werden (700 €/kWh), sind in der weiter unten folgenden Ergebnisauswertung nicht der Kategorie „Fahrzeuge“, sondern „Batteriesysteme“ zugeordnet.

Da die Betrachtungszeiträume der Szenarien jeweils den Abschreibungszeiträumen entsprechen, werden die Restwerte am Ende des 8jährigen bzw. 10jährigen Betrachtungszeitraums mit Null angesetzt.

5.1.3 Wartung/Instandhaltung, Öl, AdBlue und Versicherung

Für die Instandhaltung der Fahrzeuge inkl. Ersatzteile, Lohnkosten, Öl, AdBlue und Versicherung der Fahrzeuge selbst werden folgende Kostenzahlen angenommen:

	km-abhängige Kosten	Jährliche Fixkosten
Dieselbus (Minibus)	20 ct/km	2.000,- €/Jahr
Elektrobus (Minibus)	21 ct/km	2.000,- €/Jahr
Elektrobus (Midibus)	23 ct/km	2.000,- €/Jahr

Tabelle 6 – Wartungs-/Instandhaltungskosten (inkl. Versicherung)

Von west wurden die kilometerabhängigen Kosten für den konventionellen Minibus zu 20 ct/km beziffert. Die Annahmen für die elektrischen Busse stellen hingegen eine Schätzung dar. Elektrische Antriebe sind lauffruhiger und besitzen weniger wartungsanfällige mechanische Komponenten (z.B. Schaltgetriebe) als konventionelle Antriebe. Somit haben Elektrobusse grundsätzlich das Potential, günstigere Instandhaltungskosten zu erreichen als Dieselfahrzeuge. Allerdings sind Elektrobusse allgemein und im Speziellen die neu auf den Markt kommenden Fahrzeuge technisch noch nicht so ausgereift wie konventionelle Fahrzeuge. Erfahrungswerte sind rar und Betreiber-spezifisch und somit nur schwer übertragbar. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die hier konkret in Betracht kommenden Anbieter der Elektrobusse generell nicht ganz so Folgekosten-optimierte Fahrzeuge anbieten wie die Hersteller der Dieselfahrzeuge, für die bereits Erfahrungswerte vorliegen. Daher wird bei den elektrischen Bussen von geringfügig höheren kilometerabhängigen Kosten ausgegangen.

Nicht eingeflossen in die TCO-Rechnung sind Aufwendungen für:

- Personalschulungen (Betriebshof- / Werkstattpersonal, Fahrer, Projektmanagement)
- Umrüstung Werkstatt und Beschaffung von Werkstattausrüstung (Spezialwerkzeuge für Instandhaltung und Reparatur, Dacharbeitsplätze)

5.1.4 Batteriesystem

Entsprechend der zurzeit marktüblichen Preise wird für die Anfangsbeschaffung des Batteriesystems 700 €/kWh angenommen, was zu einem anfänglichen Kostenbeitrag zu der Kategorie

„Batteriesysteme“ von 63.000 € (elektrischer Minibus mit 90 kWh) bzw. 126.000 € (elektrischer Midibus mit 180 kWh) führt. Es wird in allen Szenarien von einer Lebensdauer von 8 Jahren ausgegangen. Dies bedeutet, dass für den elektrischen Minibus zu Beginn des Betrachtungszeitraums ein Batteriesystem beschafft wird, welches die gesamte achtjährige Nutzungsdauer ausreicht. In den Midibus-Szenarien wird nach 8 Jahren ein neuer Batteriesatz zu reduzierten Kosten (Annahme einer Kostendegression der Batteriepreise innerhalb der nächsten 8 Jahre) zu 432 €/kWh (konservative Prognose) beschafft. Dies entspricht bei 180 kWh einem Ersatzbeschaffungspreis von 77.680 €.

5.1.5 Ladeinfrastruktur

Rücksprachen mit der NEW Netz GmbH ergaben, dass die Bereitstellung einer Stromversorgung mit 44 kW mit sehr geringem Aufwand und ohne zusätzlichen Netzanschluss möglich sei. Im bestehenden Verteiler der Abstellhalle könne ein neuer Abgang mit 80 A errichtet werden, z.B. für einen typischen CEE-Anschluss mit 63 A. Die Installationskosten beliefen sich auf unter 1000 €. Je nach Entfernung zum Aufstellungsort des Fahrzeugs kämen Kosten für Kabel, Verlegung und zusätzlichen Stromzähler hinzu.

Die Kosten für die Ladeinfrastruktur eines elektrischen Minibusses werden daher insgesamt zu 5.000 € angenommen (Herrichtung CEE-Anschluss, Wallbox, Kabel, Stecker, etc. inkludiert). Das fahrzeugseitige Ladegerät des elektrischen Minibusses (44 kW) ist in den Fahrzeugkosten enthalten (siehe Kapitel 5.1.2).

Die Bereitstellung einer Stromversorgung mit bis zu 120 kW sei vergleichsweise unaufwändig und ebenfalls ohne zusätzlichen Netzanschluss realisierbar. Die Mittelspannungsstation (250 kW), an die die Abstellhalle angeschlossen ist, sei Kundeneigentum und nicht voll ausgelastet. Etwa 100 kW könnten durch Verlegen eines zusätzlichen Kabels zur Abstellhalle noch verfügbar gemacht werden. Eventuell seien Revisionsschächte hierzu nutzbar. Somit wäre in Summe auch die Versorgung eines stationären 120 kW-Ladegeräts ohne großen Aufwand, d.h. ohne Ausbau der Trafostation oder zusätzlichen Netzanschluss, realisierbar. Die Kosten werden hier zu ca. 20.000 € angesetzt.

Bei den Midibus-Szenarien fallen Kosten für die stationären Ladegeräte an. Das stationäre 44 kW-Ladegerät wird zu 27.000 € angenommen, das 120 kW-Ladegerät zu 65.000 €. Es wird davon ausgegangen, dass sie den vollen Einsatzzeitraum überdauern, am Ende aber keinen Restwert mehr haben. Weiterhin werden für jedes Ladegerät geringfügige Wartungskosten von 440 € pro Jahr bzw. 1.200 € pro Jahr angesetzt. Schließlich werden die restlichen Aufwände, für geringfügige bauliche Maßnahmen, Einhausung der Ladegeräte, abrollbare Ladekabel-Anordnungen etc., mit einer Summe von 5.000 € angesetzt.

5.1.6 Energiekosten (Dieselkosten und Stromkosten)

Abbildung 10 zeigt die für die TCO-Rechnung verwendeten Energiekosten mit ihrer angenommenen zeitlichen Entwicklung während des 8- bzw. 10jährigen Betrachtungs-/Einsatzzeitraums.

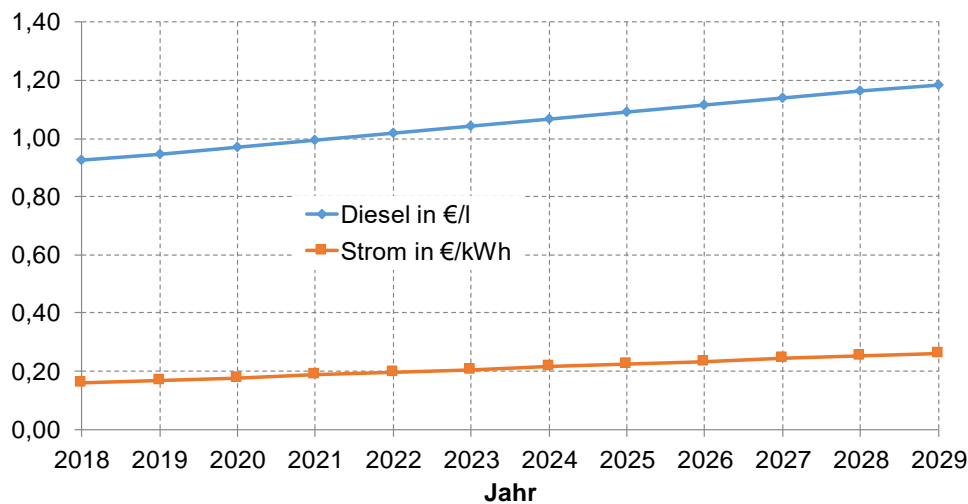


Abbildung 10 – Angenommene Kostenentwicklung für Diesel und Strom zur Ermittlung der Zahlungsreihen der Energiekosten in den Jahren 2018 bis 2029.

5.1.7 Fahrerkosten

Nach Vorgabe der west wird mit einem effektiven Stundensatz von 36 €/h gerechnet (sämtlicher Overhead inkl.). Als zu bezahlende Zeit wird die reine Fahrzeit (Linien- und Leerfahrten) gezählt.

5.1.8 Kraftstoffverbrauch des Dieselbusses und Emissionen für Diesel- und Elektrobusse

Die relevanten Emissionen lassen sich einteilen in global wirksame Emissionen und lokal wirksame Emissionen. Als global wirksame Emissionen ist insbesondere das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO₂) zu betrachten. Als lokal wirksame Emissionen sind insbesondere Stickoxide (NO_x) und Feinstaub (Particulate Matter, PM) zu betrachten. Weiterhin ist zu unterscheiden zwischen Emissionen während des Betriebs und Emissionen bei der Energieträgerbereitstellung.

Global wirksame Emissionen (CO₂):

Während des Betriebs verbrennt der Motor des Dieselbusses Dieselkraftstoff und emittiert dabei 2,63 kg CO₂ pro Liter Diesel. Der Elektrobus verursacht keine global wirksamen Emissionen unmittelbar während des Betriebs.

Für die Bereitstellung von Dieseldieselkraftstoff (Raffinerie und Transport) wird ein ökologischer Fußabdruck von 0,34 kg CO₂ pro Liter Diesel angesetzt. Für den ökologischen Fußabdruck der Strombereitstellung durch die NEW Energie werden 236 g CO₂ pro aus dem Netz bezogener Kilowattstunde angesetzt.

Lokal wirksame Emissionen (NO_x und PM):

Bei den lokal wirksamen Emissionen werden nur die tatsächlich während des Fahrbetriebs erzeugten Emissionen betrachtet. Emissionen, die lokal wirksam sind, aber außerhalb der Stadt bei der Energieträgerbereitstellung verursacht werden, sind für die städtische Luftbelastung irrelevant. Weiterhin werden Feinstaub-Emissionen, welche durch Bremsabrieb und Luftaufwirbelung verursacht werden, aus der Betrachtung ausgenommen. Zum einen sind sie nur schwer messtechnisch zu erfassen, zum anderen sind durch Bremsabrieb erzeugte Feinstaubpartikel größer und somit weniger schädlich als solche durch Dieselverbrennung in Verbrennungsmotoren. Es sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass Elektrobusse leichte Vorteile haben, da sie aufgrund des regenerativen Bremsens mittels elektrischem Antrieb weniger Bremsabrieb aufweisen. Es wird daher angenommen, dass der Elektrobus keine lokal wirksamen Emissionen verursacht. Für den Dieselbus wird angenommen, dass er die in Abbildung 11 dargestellten Emissionen verursacht.

Kraftstoffverbrauch des Dieselbusses:

Die blaue Kurve in Abbildung 11 zeigt den angenommenen Kraftstoffverbrauch für ein Referenzfahrzeug mit 13 t Gesamtgewicht in Abhängigkeit der Fahrzeuggeschwindigkeit.

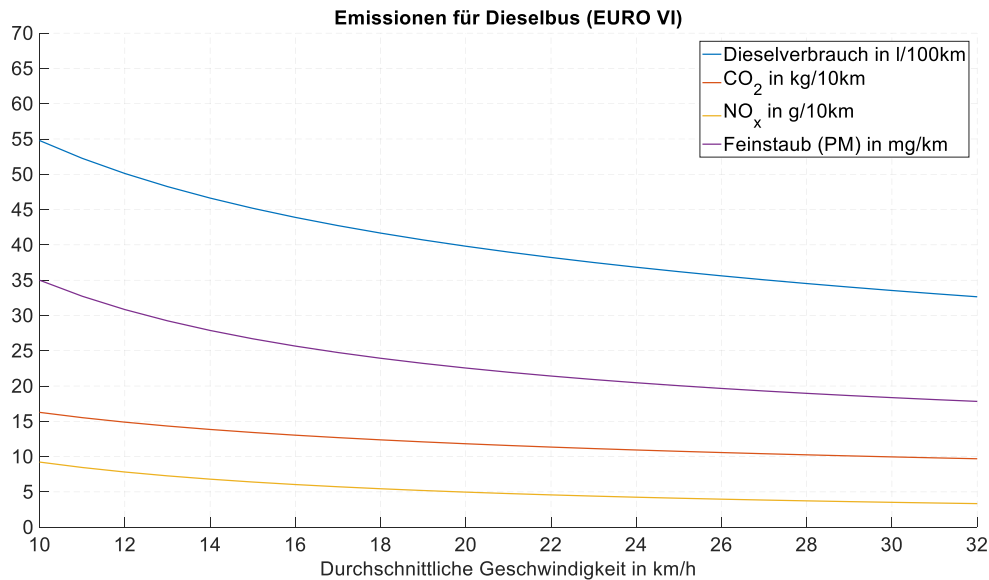


Abbildung 11 – Angenommener Kraftstoffverbrauch und angenommene Emissionen des Dieselbusbetriebs (die Kurven gelten für ein Referenzgewicht von 13 t und werden abhängig vom Belastungsgrad linear mit dem resultierenden tatsächlichen Fahrzeuggewicht skaliert)³.

Für den Diesel-Minibus (Szenario „Diesel“) ergibt sich so ein Dieserverbrauch von durchschnittlich ca. 12 l pro 100 km (Mittel über alle Linien- und Leerfahrten).

5.2 Ergebnisse der Umweltemissionsbetrachtung

Abbildung 12 und Abbildung 13 stellen für die Szenarien aus Tabelle 4 und Tabelle 5 die Umweltemissionen dar. Der Einsatz eines elektrischen Minibusses senkt bereits mit dem angenommenen Stromtarif (236 gCO₂/kWh) die CO₂-Emissionen auf ca. ein Drittel der Emissionen des Dieselbus-Referenzszenarios. Unter Verwendung eines (bilanziell) vollständig CO₂-freien Stromtarifs ließen sie sich gänzlich vermeiden, was zu einer Einsparung von 18,2 t CO₂ pro Jahr führen würde. An Stickoxiden (NO_x) kann jährlich ca. 9 kg eingespart werden, an Feinstaub (PM) ca. 70 g. Seit 2005 darf an entsprechenden Umweltmessstellen eine PM-Konzentration (PM10) von 50 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft im Tagesmittel nur an höchstens 35 Tagen

³ Die Kurven sind angelehnt an die „Pütz’schen-Kurven“ (Dissertation „Strategische Optimierung von Linienbusflotten“ von Ralph Pütz, 2010), welche auf Erhebungen von VDV-Mitgliedsunternehmen für Fahrzeuge der Emissionsklassen bis EEV (Enhanced Environmentally-friendly Vehicle) basieren. Die hier für Euro VI abgeleiteten Verbräuche und Emissionen wurden mit verschiedenen weiteren Quellen (z.B. Messungen von TNO in den Niederlanden, Messungen der FH Landshut im ZeEUS-Projekt) abgeglichen.

im Kalenderjahr überschritten werden⁴. Zöge man diesen Grenzwert (50 µg/m³) heran, entsprächen die 70 g Feinstaub rein rechnerisch (bei gleichmäßiger) 1,4 Millionen Kubikmeter Luft.

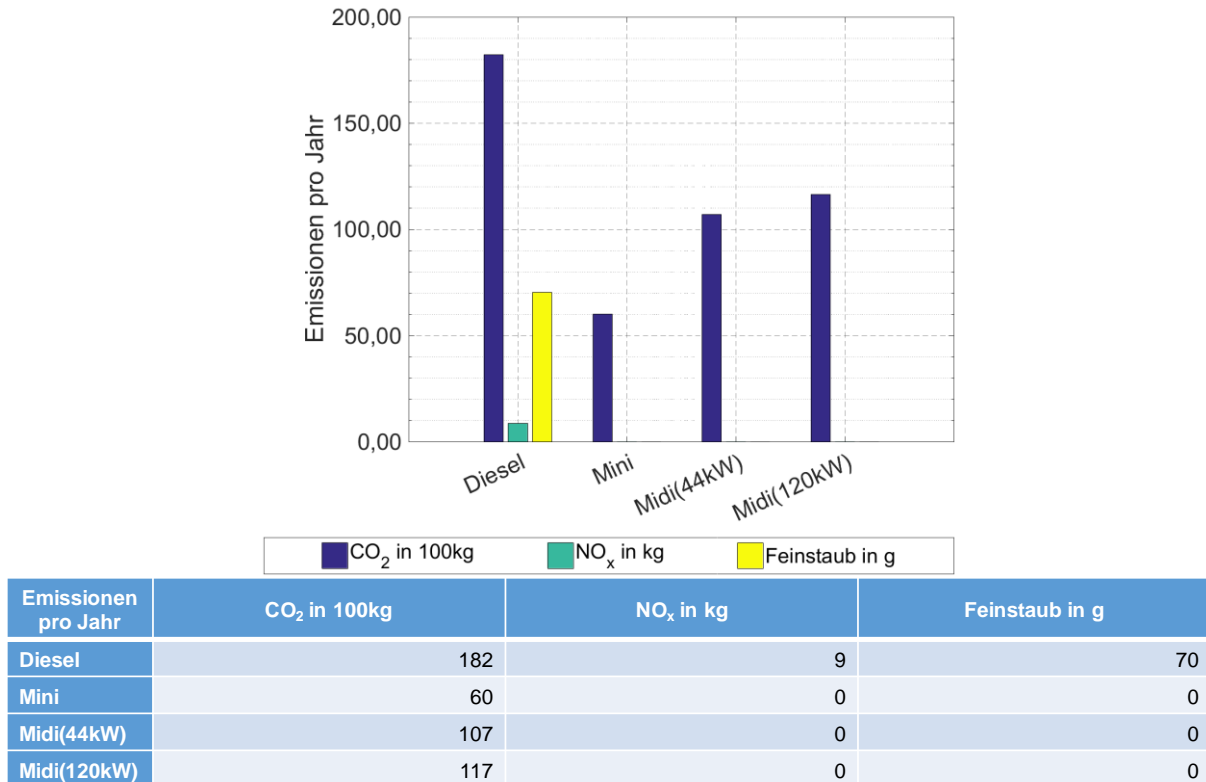
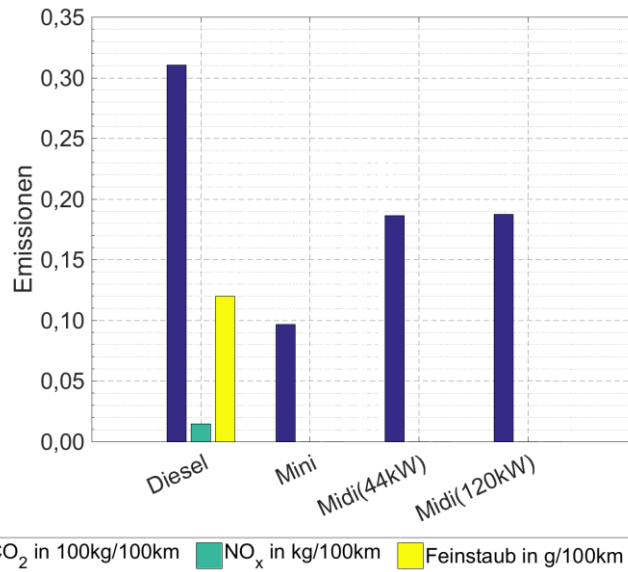


Abbildung 12 – jährliche Emissionen

⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/feinstaub-belastung#textpart-4>



Emissionen	CO ₂ in 100kg/100km	NO _x in kg/100km	Feinstaub in g/100km
Diesel	0,31	0,01	0,12
Mini	0,10	0,00	0,00
Midi(44kW)	0,19	0,00	0,00
Midi(120kW)	0,19	0,00	0,00

Abbildung 13 – kilometerbezogene Emissionen

Midibusse haben aufgrund ihrer höheren Fahrzeugmasse einen deutlich größeren Energiebedarf als Minibusse und verursachen daher – bei Verwendung von nicht CO₂-freiem Strom – merkbar höhere CO₂-Emissionen.

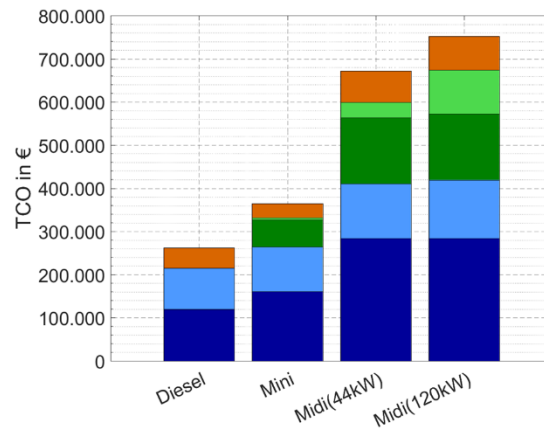
5.3 Ergebnisse der Total Cost of Ownership-Betrachtung

Abbildung 14 gibt eine Übersicht über die Aufteilung der berechneten Zahlungsflüsse nach Kostenkategorien. In den darauffolgenden Abbildungen werden die Kosten inkl. ihrer Zusammensetzung sowohl für den gesamten 7- bzw. 10-Jahres-Zeitraum, als auch als Annuitäten und als auf Fahrleistung bezogene Annuitäten dargestellt.



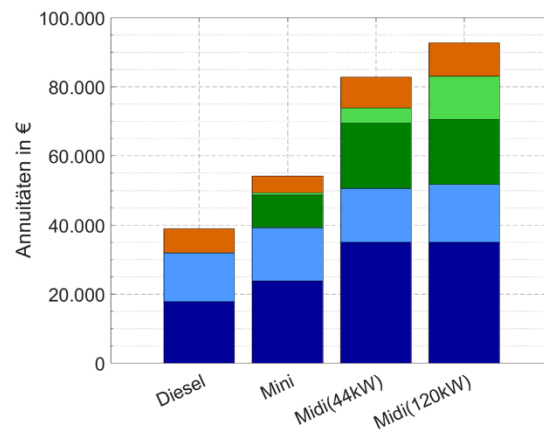
Abbildung 14 – Übersicht über Einteilung in Kostenkategorien

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Fahrerkosten nur in den Tabellen unter den Balkendiagrammen aufgeführt, nicht in den Balkendiagrammen selber. Bei der Interpretation der dargestellten Ergebnisse ist zu beachten, dass den Szenarien sowohl unterschiedliche Betrachtungszeiträume, als auch unterschiedliche jährliche Nutzleistungen (Linien-Kilometer) zugrunde liegen, siehe Tabelle 5. Beispielsweise ist der höhere Barwert der Fahrerkosten des Szenarios „Mini“ in Abbildung 15 nicht als „schlechter“ zu verstehen als der geringere Barwert der Fahrerkosten des Szenarios „Diesel“, da ersteres Szenario eine höhere jährliche Nutzleistung umfasst als letzteres, so dass sich das Verhältnis der beiden Szenarien in Abbildung 17 (Annuitäten pro Kilometer) umgekehrt darstellt. Ebenso ist beim Vergleich der Annuitäten der Minibus-Szenarien mit den Annuitäten der Midibus-Szenarien zu beachten, dass die Midibus-Szenarien zwei Jahre mehr umfassen (10 statt 8), die zeitlich nach dem Betrachtungszeitraum der Minibus-Szenarien liegen.



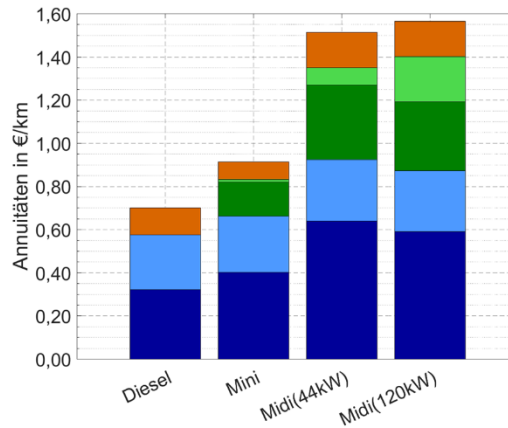
TCO in €	Fahrzeuge (ohne Batterien)	Fahrzeugwartung	Batterien	Ladeinfrastruktur	Energie	Fahrer
Diesel	120.000 €	94.826 €	0 €	0 €	47.211 €	716.352 €
Mini	160.346 €	103.828 €	63.000 €	5.000 €	32.192 €	745.296 €
Midi(44kW)	284.000 €	126.452 €	153.239 €	35.658 €	72.238 €	820.596 €
Midi(120kW)	284.000 €	135.410 €	153.239 €	101.141 €	78.571 €	897.854 €

Abbildung 15 – Total Cost of Ownership (TCO) als Barwerte (8-Jahres-Zeitraum bei „Diesel“ und „Mini“, 10-Jahres-Zeitraum bei „Midi(44kW)“ und „Midi(120kW)“)



Annuitäten in €	Fahrzeuge (ohne Batterien)	Fahrzeugwartung	Batterien	Ladeinfrastruktur	Energie	Fahrer
Diesel	17.823 €	14.084 €	0 €	0 €	7.012 €	106.398 €
Mini	23.816 €	15.421 €	9.357 €	743 €	4.781 €	110.697 €
Midi(44kW)	35.015 €	15.590 €	18.893 €	4.396 €	8.906 €	101.172 €
Midi(120kW)	35.015 €	16.695 €	18.893 €	12.470 €	9.687 €	110.697 €

Abbildung 16 – Annuitäten (8-Jahres-Zeitraum bei „Diesel“ und „Mini“, 10-Jahres-Zeitraum bei „Midi(44kW)“ und „Midi(120kW)“)



■ Fahrzeuge (o. Batterien) ■ Fahrzeugwartung ■ Batterien ■ Ladeinfrastruktur ■ Energie

Annuitäten in €/km	Fahrzeuge (ohne Batterien)	Fahrzeugwartung	Batterien	Ladeinfrastruktur	Energie	Fahrer
Diesel	0,32 €/km	0,25 €/km	0,00 €/km	0,00 €/km	0,13 €/km	1,92 €/km
Mini	0,40 €/km	0,26 €/km	0,16 €/km	0,01 €/km	0,08 €/km	1,87 €/km
Midi(44kW)	0,64 €/km	0,28 €/km	0,35 €/km	0,08 €/km	0,16 €/km	1,85 €/km
Midi(120kW)	0,59 €/km	0,28 €/km	0,32 €/km	0,21 €/km	0,16 €/km	1,87 €/km

Abbildung 17 – Auf die Fahrleistung (Nutzkilometer) bezogene Annuitäten (8-Jahres-Zeitraum bei „Diesel“ und „Mini“, 10-Jahres-Zeitraum bei „Midi(44kW)“ und „Midi(120kW)“)

Erwartungsgemäß führen die Elektrobusse in den hier betrachteten Einsatzszenarien zu höheren Total Cost of Ownership (Barwerte) als der Dieseldieselbus. Die Mehrkosten des elektrischen Minibusses („Mini“) bemessen sich auf etwa 100.000 € (Fahrerkerkosten vernachlässigt). Dies entspricht einer jährlichen Kostendifferenz von etwa 16.000 € (Annuitäten) und auf die Fahrleistung bezogen etwa 22 ct pro Kilometer.

Diese Unterschiede liegen hauptsächlich in den Anschaffungskosten der Fahrzeuge begründet. Die Kosten für die Ladeinfrastruktur und die Mehrkosten für Wartung etc. des elektrischen Minibusses werden durch die geringeren Energiekosten mehr als ausgeglichen. Hinsichtlich des Wartungsaufwands ist aber zu beachten, dass eine Aussage ohne konkrete Praxiserfahrung noch schwierig ist, da hier zum einen zu Beginn die Prozesse in der Werkstatt noch nicht ausgereift sein werden und zudem Elektrobusse innovationsbedingt noch nicht die hohe technische Reife von Dieseldieseln aufweisen können. Auch wenn Elektrobusse in den kommenden Jahren noch nicht die gleichen hohen Verfügbarkeiten wie seit Jahrzehnten weiterentwickelte und optimierte Dieselfahrzeuge aufweisen werden, so bieten Elektrobusse doch das Potential zu merkbar geringerem Wartungsaufwand und höheren Verfügbarkeiten gegenüber Dieseldieseln. Gründe hierfür sind unter anderem die Elektromotoren, welche deutlich laufruhiger sind als Verbrennungsmotoren, weniger mechanischen Komponenten in den Fahrzeugen (kein Schaltgetriebe, Wegfall von Ölwechsel) und das regenerative Bremsen, welches die mechanischen Bremsen weniger belastet (z.B. weniger Bremsabrieb).

Elektrische Midibusse führen zu deutlich höheren TCO. Beim Vergleich der Barwerte ist zu beachten, dass die Midibus-Szenarien über einen zwei Jahre längeren Zeitraum laufen. Doch

auch bei den Annuitäten und den kilometerbezogenen Annuitäten sind die Mehrkosten gegenüber dem elektrischen Minibus deutlich.

Zurzeit werden auf Bundes- und Länderebene verschiedene Fördermöglichkeiten zur Beschaffung von Elektrobussen und Ladeinfrastruktur geplant bzw. geschaffen. Neben dem BMVI, welches bereits die Beschaffung von Elektrobussen und Ladeinfrastruktur fördert (Förderung der Mehrkosten gegenüber konventionellen Fahrzeugen mit ca. 40%), hat auch das BMUB ein entsprechendes Förderprogramm angekündigt. Ebenso das Land NRW. Ihnen gemein ist, dass sie die Mehrkosten der Fahrzeuge und die Ladegeräte fördern. Einige von Ihnen auch Kosten für Stromnetzanschlüsse und Werkstattausrüstung. Konkret käme beispielsweise der nächste Förderaufruf im Rahmen der Förderrichtlinie Elektromobilität des BMVI vom 09.06.2015 in Frage, welcher nach aktueller Ankündigung in Q4-2017 beginnen wird⁵.

⁵ <https://foerderportal.bund.de/easyonline> → Projektförderung Elektromobilität des BMVI
Grundsätzliche Förderrichtlinie:
<http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderrichtlinie-elektromobilitaet.html>
Letztvergangener Förderaufruf (Deadline 31.01.2017):
https://www.now-gmbh.de/content/3-modellregionen-elektromobilitaet/3-foerderrichtlinie-2015/aufruf_11_2016_fahrzeuge_lis_final.pdf