

Zusammenfassung und Einordnung der Machbarkeitsstudie „Gesamtstädtisches kommunales Elektrobuskonzept in Leipzig“

erstellt durch das FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR VERKEHRS- UND INFRASTRUKTURSYSTEME IVI

im Auftrag der Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH

I. Hintergrund

Die Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH haben mit der Studie prüfen lassen, inwieweit der Einsatz von Batteriebussen in ihrem Liniennetz technisch möglich und wirtschaftlich realisierbar ist. Die Untersuchungen wurden **getrennt für die mittelfristig geplanten Linien bzw. Linienkombinationen** anhand von deren Umlaufplänen untersucht. Diese wurden durch die LVB für den Planungsstand 2020 bereitgestellt. Die Möglichkeiten zur Umstellung der Umlaufpläne bzw. Linien werden **getrennt für Mini-/Midi-, Solo- und Gelenkbusse** in Einführungsschritten beschrieben.

Vor dem Hintergrund des hohen Anteils an Fahrpersonal- und Fahrzeugkosten an den Gesamtkosten im Busbetrieb wurden die Untersuchungen mit der Prämisse durchgeführt, keine oder nur marginale Änderungen an den Betriebsabläufen bei generellem Verzicht auf zusätzliche Fahrzeuge zuzulassen. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit muss sich die Technik den betrieblichen Gegebenheiten anpassen.

II. Fazit

Teile des Liniennetzes der LVB sind auf der Basis der Planung für das Jahr 2020 auf Batteriebusse umstellbar. Dabei erweist sich die Strategie des Gelegenheitsladens als die geeignetere. Depotlader wären nach dem derzeitigen Technikstand in einigen wenigen Fällen ebenfalls einsetzbar.

Für Mini-/Midibusse ergeben sich derzeit keine wirtschaftlich vertretbaren Einsatzmöglichkeiten. Hingegen wird für Solobusse die Umstellung der Linien 89 und 74/76 auf einen Betrieb mit Gelegenheitsladern vorgeschlagen. Gelenkbusse stehen vorläufig nicht im relevanten Umfang für Ersatzbeschaffungen an, dennoch wird in einem ersten Schritt die Umstellung der Linie 60 vorgeschlagen. Technisch wären die Gelenkbuslinien 70, 72, 73, 80, 81, 82 und 86 in der Zukunft in drei weiteren Schritten mit vertretbarem Aufwand für die Ladeinfrastruktur auf den Betrieb von Gelegenheitsladern umstellbar. Jedoch sollte hier rechtzeitig vor Umsetzung der nächsten Schritte ein erneuter Abgleich der dann vorhandenen Lade- und Fahrzeugtechnologie, insbesondere hinsichtlich der Weiterentwicklung der Speichertechnologie, erfolgen.

Durch die vorgeschlagenen kurzfristigen Einführungsschritte einer Umstellung der Linien 89, 74/76 und 60 werden rund 2,2 Mio. Fzg.-km pro Jahr auf elektrische Antriebe umgestellt, was jährlich zur Vermeidung von über 2.600 Tonnen CO₂ sowie signifikanten Mengen an Luftschadstoffen führt.

Für diese **ersten Einführungsschritte** ergibt sich ein Investitionsvolumen von etwa 32,2 Mio. € (Vergleich dazu: Beschaffung Dieselbusse bei heutigem Preisstand rund 11,1 Mio. €). Dabei muss aber darauf verwiesen werden, dass Batteriebusse trotz einer Chance auf leicht geringere Betriebskosten im Vergleich zum Dieselbus aufgrund höherer Investitionskosten zu Mehrkosten über die Lebensdauer hinweg führen. Diese Mehrkosten müssen durch eine konsequente Nutzung der Förderlandschaft bei Bund und Land aufgefangen werden. Nach derzeitiger Einschätzungen besteht die Chance durch eine kombinierte Förderung Fördermitteln in Höhe von ca. 20 Mio. € zu generieren.

III. Rahmenbedingungen

Im Rahmen der Studie wurden zunächst in den Kapiteln 2 und 3 die technischen Rahmenbedingungen beschrieben.

Ladestrategien und Ladeinfrastruktur (siehe Kapitel 2 und 3): Festzuhalten ist, dass Batteriebusse derzeit und auch in absehbarer Zeit noch in ihrer Reichweite eingeschränkt sein werden. Daher sind Batteriebusse mit der aktuell bzw. in naher Zukunft zu erwartenden Speicherkapazität nur für Umlaufpläne mit **geringer bis mittlerer Fahrweite (bis 200 km)** geeignet. Um praktikable Reichweiten zu erreichen, ist ein Nachladen der Energiespeicher nötig. Dabei wird zwischen **Depotladern und Gelegenheitsladern sowie Puls- bzw. Flashlader** unterschieden. Die benötigte Ladeinfrastruktur ist untrennbar mit der gewählten Ladestrategie verbunden. Dabei wird die Ladestrategie durch die mögliche Ladezeit und die notwendige Ladeleistung bestimmt. Unterschieden werden in zeitlicher Hinsicht **Langsam-Ladung** und **Schnell-Ladung** sowie in technischer Hinsicht **Steckerladung** und **Ladung mit automatisierten Systemen**.

Fahrzeuge (siehe Kapitel 3): Beleuchtet wurde auch der Markt der verfügbaren Fahrzeuge, die aktuell von verschiedenen Herstellern angeboten werden. Aufgrund der derzeit realisierbaren Reichweiten sind alle Fahrzeuge derzeit vornehmlich für den **Einsatz in Städten** konzipiert und auf eine **Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h** ausgelegt. Die **Beförderungskapazität** der **19 vorgestellten Fahrzeuge** hängt von der Batteriegröße ab, liegt jedoch **unter der Kapazität von Dieseln**.

Für die Bewertung der Einsatzmöglichkeiten wurde der **Netz- und Planungsstand für das Jahr 2020** (Kapitel 4) hinsichtlich der Fahrzeugumlaufpläne, des Fahrgastaufkommens und der Verspätungsanfälligkeit zugrunde gelegt. Darüber hinaus wurden für die Energiebilanzierung **Temperaturvorgaben** (siehe Kapitel 5) definiert und berücksichtigt.

Zur **Bewertung der Einsetzbarkeit von Batteriebussen** (siehe Beschreibung des Vorgehens in Kapitel 6) wurde der voraussichtliche Energiebedarf der einzelnen Fahrzeugumlaufpläne herangezogen. Dabei wurde eine vereinfachte Energiebilanzierung anhand pauschalisierter entfernungs- und zeitbezogener Energieverbrauchswerte genutzt.

IV. Ergebnisse

Im Ergebnis der Bewertung (Kapitel 7) werden die einzelnen Umlaufpläne evaluiert. Dabei wird zwischen Depotladern und Gelegenheitsladern unterschieden. Dabei muss allerdings festgestellt werden, dass **nur ein sehr geringer Teil der Umlaufpläne mit Depotladern bedient werden kann**.

Für den **Einsatz von** Batteriebussen in Form von Gelegenheitsladern wurden dezidiert **einzelne Umlaufpläne beleuchtet**.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufpläne Nachtlinien N1 bis N9 (siehe Kapitel 7.2.1)

Für die Bedienung der Nachtumlaufpläne müssen weiterhin Dieseln eingesetzt werden.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufpläne 60 – Linie 60 (siehe Kapitel 7.2.2)

Bedienung mit Gelenkbus-Gelegenheitsladern (9 + 2 mit 250 kWh Batterie) mit Errichtung von Ladestationen in LINH-01 (Lindenauer Hafen) und LIPS-02 (Lipsiusstraße).

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufpläne 61, 62 – Linie 61, 62, 161 (siehe Kapitel 7.2.3)

2 Varianten: 1. Ladestation in SÖNW-03 (Schönau, Weißdornstraße) mit Einsatz von 3 Batterie-Solobusse Mo-Fr; sonntags 2 Batterie-Solobusse statt Midibusse; Bedienung aller anderen Umlaufpläne weiter durch konventionelle Busse; Kurzumlauf Mo-Fr kann durch freien Batteriebus bedient werden. 2. Ladestationen SÖNW-03 (Schönau, Weißdornstraße), BREH-01 (Breitscheidhof), LAWO-01 (Lausen, Wolkenweg) mit Einsatz von 6 Batterie-Solobusse Mo-Fr; sonntags 3 Batterie-Solobusse statt Midibusse; Kurzumlauf Mo-Fr vorläufig durch Dieselbus bedienen

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 63 – Linie 63 (siehe Kapitel 7.2.4)

Wegen des zahlenmäßig äußerst ungünstigen Verhältnisses zwischen Batteriebus und Ladestation und des sehr geringen Ladebedarfs (max. 160 bis 290 kWh/d, nur Mo - Fr) kann ein solches Vorgehen nicht empfohlen werden.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 64 – Linie 64 (siehe Kapitel 7.2.5)

Der Einsatz eines Batterie-Solobusses wäre sinnvoll, falls die Ladestation SANG-29 (Straßenbhf. Angerbrücke, Bus) auch für Linie 130 ausreichen würde. Das ist nach den durchgeführten Berechnungen nicht der Fall. Es wird deshalb empfohlen die Linie 64 noch nicht zu elektrifizieren und später durch Depotlader zu bedienen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 65 – Linie 65 (siehe Kapitel 7.2.6)

Weiterhin Betrieb mit konventionellen Bussen bis verbrauchsoptimierte Depotlader mit ausreichender Reichweite zur Verfügung stehen, erforderlichenfalls sind sehr lange Umlaufpläne zu teilen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 66 – Linie 66 (siehe Kapitel 7.2.7)

Wegen des ungünstigen Verhältnisses zwischen Batteriebussen und Ladestationen und des sehr geringen Ladebedarfs (max. 120 kWh pro Verkehrstag) wird weiterhin die Bedienung mit Dieselnbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 67 – Linie 67 (siehe Kapitel 7.2.8)

Der Betrieb der Linie mit Gelegenheitsladern kann wegen des ungünstigen Verhältnisses zwischen Batteriebussen und Ladestationen und des sehr geringen Ladebedarfs (max. 140 kWh pro Verkehrstag) nicht empfohlen werden.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 70 – Linie 70 (siehe Kapitel 7.2.9)

Der Betrieb der Linie mit Gelegenheitsladern kann wegen des ungünstigen Verhältnisses zwischen Batteriebussen und Ladestationen und des sehr geringen Ladebedarfs (max. 140 kWh pro Verkehrstag) nicht empfohlen werden.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 72 – Linien 72, 73 (siehe Kapitel 7.2.10)

Schritt 1: Errichtung je einer Ladestation in HBFS (Hbf., Kurt-Schumacher-Str. 72,73), SOMM (Sommerfeld 73/172) und PAUB (Paunsdorf Straßenbhf. Wende). (Bei Elektrifizierung von Linie 90 sind zwei Ladestationen in PAUB erforderlich.); Beschaffung von 11 Batterie-Gelenkbussen; Einsatz von Dieselnbussen oder freien Batteriebussen auf den verbleibenden Umlaufplänen. Schritt 2: Falls zur Stabilisierung bei Verspätungen erforderlich, eine Ladestation in BAAL (Baalsdorf, Kirchweg) errichten.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 74 – Linien 74, 76 (siehe Kapitel 7.2.11)

Errichtung von zwei Ladestationen in NAKI-01 (Nathanaelkirche) und einer Ladestation in HSSH-02 (Holzhausen Sophienhöhe) sowie Beschaffung von 11 + 4 Batterie-Solobussen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 75 – Linie 75 (siehe Kapitel 7.2.12)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselnbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 77 – Linie 77 (siehe Kapitel 7.2.13)

Wegen des ungünstigen Verhältnisses zwischen Batteriebussen und Ladestationen und des sehr geringen Ladebedarfs (max. 170 kWh pro Verkehrstag) wird weiterhin der Einsatz von Dieselnbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 79 (75) – Linie 79 (siehe Kapitel 7.2.14)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselnbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufpläne 80 und 86 – Linien 80, 81, 82, 86 (siehe Kapitel 7.2.15)

Errichtung je einer Ladestation in AMZU-01 (Am Zuckmantel Ri. Möckern), LIN-08 (Lindenau Bushof, Abfahrt 80), SBME-04 (S-Bahnhof Messe) und THEK (Thekla); Beschaffung von 2 Solo- und 13 Gelenkbatteriebussen; Anpassen der Haltezeiten am Wochenende in THEK um Haltezeitüberschneidungen zu vermeiden; Bedienung der übrigen Umlaufpläne mit Dieselnbussen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 83 – Linie 83 (siehe Kapitel 7.2.16)

Sofern die Ladestation in Thekla vorhanden ist und die Ladeaufenthalte in das dortige Laderegime eingepasst werden können, kann die Linie mit einem Midibus nach dem Prinzip der Gelegenheitsladung betrieben werden. Ist dies nicht möglich, wird weiterhin der Betrieb mit Dieselbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 85 – Linie 85 (siehe Kapitel 7.2.17)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 87 – Linien 87, 88 (siehe Kapitel 7.2.18)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 89 – Linie 89 (siehe Kapitel 7.2.19)

Ertüchtigung der vorhandenen Ladestation bzw. Ersatzbau; Beschaffung von 7 Batterie-Solobussen; Nutzung eines Dieselbusses oder eines freien Batterie-Gelenkbusses für die Gelenkbus-Fahrten an Schultagen

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 90 (siehe Kapitel 7.2.20)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselbussen empfohlen. Neuüberprüfung im Zuge der Einführung von Batteriebussen auf den Linien 72 und 73.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 91 (siehe Kapitel 7.2.21)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 108 – Linie 108 (siehe Kapitel 7.2.22)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufpläne 130, 131 – Linien 130, 131 (siehe Kapitel 7.2.23)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 172 – Linien 143, 172, 173, 175, 176 (siehe Kapitel 7.2.24)

Es wird weiterhin der Einsatz von Dieselbussen empfohlen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 335 – Linie 335 (siehe Kapitel 7.2.25)

Die Linie sollte weiterhin mit Dieselbussen bedient werden bis geeignete Depotlader zur Verfügung stehen.

Empfehlung Gelegenheitslader: Umlaufplan 750 – Linie 750 (siehe Kapitel 7.2.26)

Die Linie sollte weiterhin mit Dieselbussen bedient werden bis geeignete Depotlader zur Verfügung stehen.

V. Schritte zur Einführung von Batteriebussen

Empfehlung: **Zuerst sollen solche Linien elektrifiziert werden, die bei geringem Infrastrukturaufwand den Einsatz einer größeren Anzahl von Bussen auf den nachfragestärksten Linien ermöglichen** (siehe Kapitel 8).

Ziel: Es sollen verlässliche Daten über den tatsächlichen Energieverbrauch im realen Fahrbetrieb erzielt werden. Darüber hinaus sollen abweichende Anforderungen im Betriebsablauf gegenüber dem Einsatz von Dieselbussen ermittelt und daraus Modifikationen hinsichtlich der Elektrifizierung weiterer Linien abgeleitet werden.

Solobusse (siehe Kapitel 8.2)

Schritt S1: Linie 89 – Depotlader > nach Prüfung ob Reichweiten von 200 km ohne Nachladung erreicht werden können, könnte die Linie 89 mit 7 Depotladern bedient werden. Da diese Linie aber die einzige ist, welche für Depotladung geeignet ist, wird auf Grund einer Einführung einer einheitlichen Ladestrategie für alle Linien auf Schritt S1 verzichtet und stattdessen Schritt S2 vorgeschlagen.

Schritt S2: Linie 89 – Gelegenheitslader > Falls Schritt S1 nicht umsetzbar sein sollte, wäre die Linie 89 mit Gelegenheitsladern sicher und vor allem auch batterieschonend bedienbar > Beschaffung von 7 Gelegenheitsladern, Ladestation am Connewitz Kreuz

Schritt S3: Linie 74/76 > Beschaffung von 15 Gelegenheitsladern, Ladestationen an Endhaltestelle Nathanaelkirche (2) und Holzhausen Sophienhöhe

Schritt S4: Übrige Linien > vorläufig eine Weiterbedienung mit Dieselsebussen empfohlen

Schritt S5: Neubewertung > Im Zuge von Ersatzbeschaffungen ist anhand der dann zur Verfügung stehenden Technik erneut zu prüfen, ob weitere Linien bzw. Umlaufpläne mit Depotladern oder alternativ mit Gelegenheitsladern unter Einsatz von wenigen Ladestationen bedienbar sind

Gelenkbusse (siehe Kapitel 8.3)

Gelenkbusse stehen vorläufig nicht zur Ersatzbeschaffung an > die nächsten Erneuerungen sind ab den Jahren 2024/2025 geplant, diese Schritte daher zeitlich nachgelagert zu S2 und S3

Schritt G1: Linie 60 > Beschaffung von 11 Gelegenheitsladern + je eine Ladestation an den Endhaltestellen Lindenau Hafen und Lipsiusstraße

Schritt G2: Linie 70 > Beschaffung von 23 Gelegenheitsladern + je zwei Ladestationen an den Endhaltestellen Markleeberg West und Mockau West

Schritt G3: Linien 72/73 > Beschaffung von 11 Gelegenheitsladern + jeweils eine Ladestation an den Endhaltestellen Paunsdorf Buswendestelle, Hauptbahnhof Kurt-Schumacher-Straße und Sommerfeld

Schritt G4: Linien 80 / 81 / 82 / 86 > Beschaffung von 15 Gelegenheitsladern + je eine Ladestation an den Endhaltestellen Am Zuckmantel, Lindenau Bushof, S-Bahnhof Messe und Thekla + Anpassung der Wendezeiten an der Endhaltestelle Thekla, sonst dort zwei Ladestationen

Schritt G5: Linie 90 > Neubewertung für den Fall, dass die Linien 72 und 73 mit Ladeinfrastruktur ausgerüstet werden und freie Ladezeiten an der Endhaltestelle Paunsdorf Buswendestelle zur Verfügung stehen

Schritt G6: Übrige Gelenkbusse > Neuüberprüfung hinsichtlich des Einsatzes von Depotladern im Zuge von Ersatzbeschaffungen.

VI. Abschätzung des Investitionsvolumens

Kosten entstehen hinsichtlich der **Installation der Ladeinfrastruktur und Werkstattausrüstung, die Anschaffung der Fahrzeuge sowie Schulung des Personals** (siehe Kapitel 9).

Gesamtinvestitionen – Schritt S2 Linie 89 (siehe Kapitel 9.4)

Insgesamt belaufen sich die Investitions- und Erstschulungskosten auf etwa 5,23 Mio. €.

Gesamtinvestitionen – Schritt S3 Linie 74/76 (siehe Kapitel 9.4)

Insgesamt belaufen sich die Investitions- und Erstschulungskosten auf etwa 13,62 Mio. €.

Gesamtinvestitionen – Schritt G1 Linie 60 (siehe Kapitel 9.5)

Insgesamt belaufen sich die Investitionskosten auf rund 13,37 Mio.

Gesamtinvestitionen – Gesamtflotte (siehe Kapitel 9.6)

Insgesamt ergibt sich für die Umsetzung aller aus heutiger Sicht möglichen Schritte ein weiteres Investitionsvolumen von knapp 91,28 Mio. €.

VII. Abschließende Bewertungen

Abschließend wurde von den Autoren der Studie noch eine **Vergleichskostenbetrachtung für die Linien 74/76 und 89** durchgeführt (siehe Kapitel 10). Dabei wurden die Kosten für den Einsatz von

Batteriebusen mit denen für den Einsatz von **Dieselmussen** verglichen. Dementsprechend für den Vergleichsfall Dieselmussen vs. Batteriemussen auf den Linien 89, 74 und 76 ergeben sich jährliche Mehrkosten bei den Gesamtkosten in Höhe von etwa 520.000 € für den Batteriebusbetrieb oder rund 0,40 € / Fzg.-km. Diese Mehrkosten können durch den Einsatz von Fördermitteln kompensiert werden. (derzeit angenommene Förderung: 80% der Mehrkosten über BUMB + 95T€ pro Fahrzeug über das Land Sachsen)

Darüber hinaus wurden auch die Umwelt- und Klimaauswirkungen (siehe Kapitel 11) untersucht. Bei Umstellung der Linie 89 können pro Jahr 388 Tonnen CO₂ und 1.892 Kilogramm NO_x eingespart werden.

Bei Umstellung der Linie 74/76 können pro Jahr 1.085 Tonnen CO₂ und 5.218 Kilogramm NO_x eingespart werden.

Bei Umstellung der Linie 60 können pro Jahr **1.149 Tonnen CO₂** und **3.437 Kilogramm NO_x** eingespart werden.

Mit der E-Bus-Einführung auf diesen 3 Linien bis 2022 werden der CO₂-Ausstoß um **2.623 Tonnen** pro Jahr und der NO_x-Ausstoß um **10.547 kg** pro Jahr in unserer Stadt reduziert.

Bei der späteren Umsetzung aller weiteren vorgeschlagenen Linien können nochmals rund 3,55 Mio. km/Jahr auf elektrischen Busbetrieb umgestellt werden, was zu einer weiteren Vermeidung von ca. 3.900 Tonnen CO₂/Jahr sowie signifikanten Mengen an weiteren Luftschadstoffen führen würde.