www.e-bus.kvg-kiel.de

KVG
fahr ich gern!

Zweiter Sachstandsbericht

über die

Einführung der E-Mobilität in den Linienbussen des ÖPNV der Landeshauptstadt Kiel

und

Konzeptfortschreibung 2023 – 2024 ff.

Mai 2021

Gliederung

I.	**Einleitung und Zusammenfassung**	
II.	**Strategie und Beschlusslage**	**4**
III.	**Umsetzungsschritte 2020 bis 2022 - „KVG E-Bus 1.0 und 2.0“**	**5**
IV.	**Konzeptfortschreibung 2023 bis 2024 - „KVG E-Bus 3.0“**	**13**
V.	**Investitionsaufwand**	**15**
VI.	**Nutzen- / Kosten-Vergleich**	**16**
VII.	**Ausblick**	**18**
Anlage	**Übersicht nach Linien**	**22**

Abkürzungen

BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVI	Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur
BV	Beschlussvorlage
Drs.	Drucksache
GM	Geschäftliche Mitteilung
GW	Gelenkwagen (18,00 bis 18,75 Meter-Busse)
HPC	High Power Charger (bis zu 450 kW)
KVG	Kieler Verkehrsgesellschaft mbH
KW	Kleinbusse
LIS	Ladeinfrastruktur
MS	Mittelspannung
NKU	Nutzen-Kosten-Untersuchung
NW	Normalwagen (12 Meter-Busse)
Opp.-Charger	Gelegenheitslader (Opportunity)
RNVP	Regionaler Nahverkehrsplan der Landeshauptstadt Kiel
SBRS	Schaltbau Efficiency First GmbH (Hersteller der LIS)
THG	Treibhausgase
VDL	Fahrzeughersteller

I. Einleitung und Zusammenfassung

Im Laufe der Jahre 2020 bis Mitte 2022 hat die KVG auf Basis von Beschlüssen des Aufsichtsrates und der Selbstverwaltung sowie mit Hilfe von Fördermitteln des Bundes in Höhe von 34,4 Mio. Euro in gemeinsamer Zusammenarbeit mit den Ämtern der Landeshauptstadt Kiel und der Nachbargemeinde Kronshagen die ersten beiden Schritte der Umstellung der Linienbusflotte hin zu elektrotechnischen Antrieben umgesetzt („KVG E-Bus 1.0“ und „KVG E-Bus 2.0“).

Zu Anfang 2022 werden insgesamt 70 Dieselbusse ersetzt sein, was einem Anteil von ca. 35 % an der Gesamtflotte entspricht. Zudem werden bis dahin sieben Endhaltestellen und der Betriebshof ‚Werftstraße‘ mit Ladetechnik ausgestattet sein.

Im Vorwege, in den Jahren 2017 bis 2019, sind 33 Diesel-Hybrid-Busse mit einer Kraftstoffersparnis von ca. 24 % in den Dienst gestellt und parallel 37 Linienbusse von Euro 5 auf Euro 6 umgerüstet worden.

Dieser Zweite Sachstandsbericht stellt das Vorhaben der Flottenumrüstung in aktualisierter Weise dar und gibt ein Konzept für das weitere, mittelfristige Vorgehen als Basis für einen politischen Grundsatzbeschluss vor:

In dem Projektschritt ‚E-Bus 3.0‘ sollen nach diesem Planungsstand im Jahr 2023 drei weitere Endhaltestellen ausgerüstet werden (‚Roskilder Weg‘, Schilksee, Olympiazentrum‘ und ‚StrandOrt‘) zudem Ladeinfrastruktur für 30 Fahrzeuge auf dem Betriebshof ‚Diedrichstraße‘ errichtet sowie direkt folgend im Jahr 2024 30 E-Gelenkbusse beschafft werden.

Zur Aufnahme der vorbereitenden Maßnahmen a) Akquise weiterer Fördermittel und b) Vorbereitung der Ausschreibungsunterlagen für die Beschaffung der Ladeinfrastruktur und der Busse bedarf es einer vorherigen Beschlusslage über die grundsätzliche Fortsetzung; insbesondere deshalb, weil dieser auch finanziell sehr ambitionierte Umsetzungsplan, die positive Unterstützung der Fördermittelgeber voraussetzt.

So wird zu Mitte des laufenden Jahres ein weiteres Förderprogramm des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) für die Förderung der Beschaffung von Linienbussen und deren Ladetechnik in Höhe von 1,2 Mrd. Euro erwartet, in dessen Rahmen die KVG ihre Projektskizze und Fördermittelantrag platzieren möchte.

Sofern hier entsprechende Mittelverwendungsfristen bis Ende 2025 oder sogar in das Jahr 2026 hinein eingeräumt werden, wären bereits jetzt schon im Zuge der Beantragung von Fördermittel für das Projekt ‚E-Bus 3.0‘ auch die möglichen Fördermittel für das Projekt ‚E-Bus 4.0‘ zu beantragen (18 NW und weitere Ladetechnik auf dem Betriebshof ‚Diedrichstraße‘).

II. Strategie und Beschlusslage

- **Erstes Strategiepapier der KVG**

	BV, KVG-Aufsichtsrat	März 2016
	GM, Drs. 0198/2016	April 2016

- **Fortschreibung und strategische Zielsetzung der Landeshauptstadt Kiel**

	BV, KVG-Aufsichtsrat	Dez. 2017
	BV, Drs. 1226/2017	Jan. 2018

- **Teilziel im 5. RNVP** BV, Drs. 0197/2018 April 2018

- **1. Sachstandsbericht Januar 2020**

	GM, Drs. 0129/2020	Feb./März 2020

- **Weitere Strategien und Konzepte der Landeshauptstadt Kiel (Auszug):**

Masterplan 100% Klimaschutz	BV, Drs. 0985/2017
Climate Emergency Resolution	BV, Drs. 0901/2019
Green City Plan	BV, Drs. 0716/2018
Lärmaktionsplan	BV, Drs. 0064/2021
‚Verkehrswende in Kiel'	GM, Drs. 0285/2021

Abb. 1 - Ladetest auf dem Betriebshof Werftstraße

III. Umsetzungsschritte 2020 bis 2022 - „KVG E-Bus 1.0 und 2.0“

Die nachstehende Tabelle stellt das Mengengerüst der laufenden Projekte „KVG E-Bus 1.0“ und „KVG E-Bus 2.0“ dar. Hiermit sind bis Ende 2021 insgesamt 70 Linienbusse der Gesamtflotte von rd. 200 Fahrzeugen batterieelektrisch angetrieben. Dieses entspricht einer Quote von rd. 35 %.

Fahrzeuge:

	Batteriekapazität (netto)	Reichweite	Leistungs-aufnahme	Inbetrieb-nahme
47 E-GW (18,75 Meter)	135 kWh	70 - 90 km	420 kW	2020 / 2021
20 E-NW (12 Meter)	252 kWh	170 - 230 km	250 kW	2021
3 E-KW				Anfang 2022

Ladeinfrastruktur auf

a) Betriebshof:

4 HPC*)	2020
20 Depotlader (à 150 - 250 kW)	2021
Ladetechnik für Kleinbusse	2022

b) Endhaltestellen:

	Anzahl Lader	Linien	eingesetzte Fahrzeuge (ca.)	Frequenz	Inbetrieb-nahme
Adalbertstraße	3 HPC	Li. 6, 32	11 GW	8 Fz./h	Nov. 2020
Rungholtplatz	4 HPC	Li. 22, 42, 81	10 GW / 5 NW	8 Fz./h	Jan. 2021
Wik, Kanal	3 HPC	Li. 11	17 GW	8 Fz./h	Mai 2021
Narvikstraße	2 HPC	Li. 31	7 GW	4 Fz./h	Juli 2021
Albert-Schweitzer-St	2 HPC	Li. 34	7 NW	4 Fz./h	Okt. 2021
CITTI-PARK	1 HPC	Li. 52	5 NW	2 FZ./h	Herbst 2021
Schwentinestraße	2 HPC	Li. 60S	5 GW	4 Fz./h	2022

Tabelle 1 - KVG E-Bus 1.0 und 2.0

Die gewählten Losgrößen der Umsetzungsschritte werden im Hinblick auf folgende Bedingungen abgestimmt:

- Investitionsplan zur Ersatzbeschaffung (Ausmusterung Alt-Fahrzeuge),
- Infrastrukturanpassung (Betriebshöfe; Endhaltestellen),
- Verfügbarkeit von technischen Innovationen und Entwicklungsprognosen,
- Verfügbarkeit von Fördermitteln und Bestand der notwendigen Gremienbeschlüsse,
- Verwendungsfristen von Fördermittel und zeitliche Umsetzbarkeit.

Zudem hatten weitere Rahmenbedingungen diese beiden ersten, fast zeitgleich zusammenfallenden Umsetzungsschritte beeinflusst:

- Die Auflagen der Baugenehmigung für den Betriebshof Werftstraße sehen aus Gründen des Lärmschutzes vor, dass der dortige Regelbetrieb mit größtenteils elektrisch angetriebenen Bussen zu erfolgen hat.

- Die Abstellhalle auf dem Betriebshof Werftstraße steht unter Denkmalschutz und bietet kaum Möglichkeiten für eine Einrüstung mit Ladeinfrastruktur. So mussten die 47 E-GW als reine Opportunity-Charger (Nachladung mit hoher Ladeleistung) konfiguriert werden.

- In der Praxis zeigt sich, dass die gute Performance dieser E-GW und die Programmierbarkeit der verbrauchsabhängigen Zuschaltung der Zusatzheizung (mit GTL – Gas to Liquid) bei niedrigen Temperaturen den Einsatz dieser Busse auch auf längeren Linien möglich machen.

- Die 20 E-NW weisen eine höhere Reichweite von ca. 170 bis 230 km aus, müssen allerdings in der (nächtlichen) Abstellung im Depot an Ladestationen angeschlossen sein. Jedoch ist auch hier die immer noch eingeschränkte Reichweite ein Grund dafür, dass auch bei diesen Linien Nachlademöglichkeiten an Endhaltestellen vorzusehen sind, sofern durchgehende Tagesumläufe mit diesen Fahrzeugen gefahren werden. Entgegen kommt, dass die Ladeleistung mit bis zu 250 kW im Verhältnis zum spezifischen Energieverbrauch immer noch relativ hoch ist. So sind auch diese Fahrzeuge flexibel auf den üblichen Umläufen und auch auf längeren Linien einsetzbar.

Somit ist die Abstellkapazität des Betriebshofes Werftstraße vollständig genutzt, die Beschaffungslose mit den auszumusternden Fahrzeuggenerationen abgestimmt, die Linienkapazitäten mit der Stückzahl verfügbarer E-Busse und die Ausrüstungen der Endhaltestellen im Gleichklang getaktet.

Abb. 2 - Ladetest Endhaltestelle ‚Adalbertstraße' (3*450 kW)

Abb. 3 - Ladetest an der neu gestalteten Endhaltestelle ‚Rungholtplatz' (4*450 kW)

Abb. 4 - 20 Depot-Ladestationen auf dem Betriebshof

Auch für die Ladung der 20 E-NW des Loses „E-Bus 2.0“ wird das gleiche technische System mit dem Ladearm (Pantograph) auf dem Fahrzeugdach und der Ladehaube an Traversen oder Einzelmasten vorgesehen. Dieses bietet den Vorteil, dass sämtliche E-Busse der Flotte völlig kompatibel zu der Ladeinfrastruktur auf Betriebshof und an den Endhaltestellen sind. Die Busse sind somit frei einsetzbar und können auch unterschiedlichen Linien zugeteilt werden. Hierdurch werden Optimierungspotenziale der Umlaufbildung nicht eingeschränkt und die Fahrzeugdisposition vereinfacht. Ein weiterer Vorteil ergibt sich für das Fahr- und Betriebspersonal wegen des Verzichtes auf Steckerladung mit schweren, sperrigen und verschmutzten Kabeln, bei denen sich die Handhabung oftmals als sehr unkomfortabel darstellt und die in den Abstellbereichen in den Verkehrswegen an den Fahrspuren herunterhängen.

Die Ladetechnik wird von SBRS GmbH geliefert. Die Komponenten (Trafos, Gleichrichter, Leistungselektronik, Klimatisierung und Ladehauben) sind baugleich ausgelegt. Die Ladegeräte sind wassergekühlt und daher sehr geräuscharm, verschleißarm und insbesondere wirkungsgradoptimiert mit sehr geringen Verlust- und Stand-by-Leistungen.

Die Service-, Wartungs- und Instandhaltungsaufgabe wird durch den Kooperationspartner LKM GmbH mit Sitz in Kiel wahrgenommen. Hier wird neben guter fachlicher Expertise besonderer Wert auf kurze Reaktionszeiten für Störungsbeseitigungen, gut geplante und mit dem Betrieb abgestimmte Wartungsintervalle und optimale Ersatzteilverfügbarkeit vor Ort (inkl. eines Trafos) gelegt. SBRS und LKM nehmen in diesem Zuge auch die Aufgaben der ‚Anlagenverantwortlichkeit nach DIN VDE 0105-100‘ und die Funktion der ‚betrieblich verantwortlichen Elektrofachkraft‘ über die Anlagen für die KVG wahr.

Abb. 5, 6 - flüssigkeitsgekühlte SLIM-Lader; doppelt gedämmte Ladehaube

In diesen Projekten „E-Bus 1.0“ und „E-Bus 2.0“ wird parallel ein Lastmanagementsystem implementiert, das die Verteilung der verfügbaren Anschlussleistung des Betriebshofes dynamisch regelt. Dabei werden den unterschiedlichen Bereichen des Betriebshofes Prioritätsstufen zugewiesen und entsprechend deren die Leistung zugeordnet. Das System berücksichtigt Netzschwankungen und ggfs. zu bestimmten Zeitabschnitten im Tagesverlauf notwendige Limitierungen der aus dem Netz abgenommenen Leistung. Hierzu werden gemeinsam mit den Fachabteilungen der Stadtwerke Kiel AG und SWKiel Netz GmbH Analysen durchgeführt. So bildet dieses besondere Thema auch die Aufgabe in einem gemeinsamen Forschungsprojekt „KielFlex“, das mit weiteren Projektpartnern (CAU, Fraunhofer Institut, ABB, Seehafen, EBK) betrieben wird. Siehe hierzu auch www.kielflex.de.

Die Ladeinfrastruktur auf dem Betriebshof wird über einen eigenen Mittelspannungsring versorgt. Eine zusätzliche kundeneigene Mittelspannungsstichleitung wird gemeinsam mit der SWKiel Netz GmbH im Zuge der weiteren Ausbaustufen – dann auch unter Einbeziehung des Betriebshofes Diedrichstraße – projektiert. Diese wird notwendig sein um a) den Betriebshof Diedrichstraße zu elektrifizieren, b) auf dem Betriebshof Werftstraße zukünftig noch höhere Ladeleistung bereitzustellen und c) die Redundanz abzusichern.

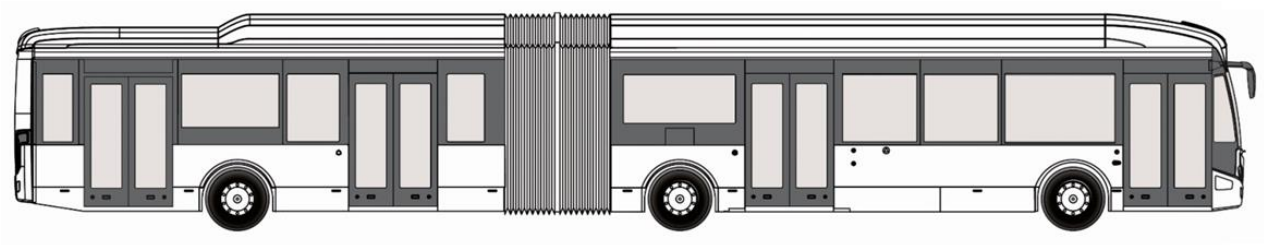
Für die Umsetzung der ersten beiden Schritte zur Umstellung der Gesamtflotte auf elektrotechnische Antriebe erhält die KVG von dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Fördermittel von insgesamt 34,4 Mio. Euro. Dieses Programm fördert die Fahrzeugmehrkosten mit einer Quote von 80 % und die Ladeinfrastruktur mit 40 %. Die Förderung für den Ausbau der Endhaltestelle

Gefördert durch:
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

‚Schwentinestraße' und der Ladeinfrastruktur für die Kleinbusse ist beim Land Schleswig-Holstein beantragt.

Für das anstehende Teilprojekt „E-Bus 3.0" (siehe dazu Kapitel IV.) wären – bei positiver Unterstützung durch den KVG-Aufsichtsrat und die Gremien der Selbstverwaltung der Landeshauptstadt Kiel – Fördermittel aus dem neu aufgelegten Programm des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zu beantragen. Auch hier fördert dieses Programm die Fahrzeugmehrkosten mit einer Quote von 80 % und die Ladeinfrastruktur mit 40 %.

Die folgende Abbildung stellt das Bus-Modell mit seinen Spezifika dar, das derzeit mit den 47 Gelenkbussen beschafft wird.



HPHC-Batterien (LpCO), 169 kWh (135 kWh)
Flüssigkeitsgekühlt 390 - 450 kW
ca. 70 bis 85 km; Pantograph ü. Achse 1
5 min. Ladezeit → 35 kWh = 21 km
10 min. Ladezeit → 70 kWh = 42 km
Balancing während des Betriebs!

VDL BUS & COACH

Abb. 7 - VDL Citea SLFA-187/E

Exkurs: Variantendiskussion ‚Opportunity-Charger' vs. ‚Depotladung'

Wie im Vorstehenden angedeutet, folgen ein Konzept und dessen Fortschreibung den Rahmenbedingungen, die sich an das Projekt stellen und sich aus a) den betrieblichen Notwendigkeiten, b) den technischen Möglichkeiten und c) der Finanzierbarkeit ergeben.

So entstand auch die Frage, ob ein System, welches durchgehend Depotladung als Ziel verfolgt, einem System mit Nachladetechnik an Endhaltestellen im Netz vorzuziehen ist. Die Antwort kann nicht allgemeingültig gegeben werden, da die Bedingungen sehr unternehmensindividuell und unterschiedlich sein können.

Die Systementscheidung der KVG, das erste Los „E-Bus 1.0" mit reinen Opportunity-Chargern zu starten und in den folgenden Schritten „E-Bus 2.0" und „E-Bus 3.0" mit einer Kombination beider technischen Ausprägungen fortzufahren, ist gut begründet und hebt viele betriebliche Vorteile; hier insbesondere:

- Nutzung der Möglichkeiten bzw. Beachtung von Einschränkungen auf den Betriebshöfen,
- Nutzung der Möglichkeit, auch Endhaltestellen mit Ladetechnik auszustatten und zudem diese mit der Neugestaltung stadtgestalterisch aufzuwerten,
- Flexibilität im betrieblichen Einsatz und Erhalt von Optimierungspotenzialen bei der Fahrzeugumlaufbildung und Einsatzmöglichkeiten auch auf z.B. Tangentiallinien,
- Verteilung der Energiemengenabforderung aus dem MS-Netz über den Tagesverlauf und über das Stadtgebiet verteilt,
- Vereinfachung der Fahrzeugdisposition (planerisch und betrieblich),
- durchgängig gleiche Wartungspunkte in der Instandhaltung.
- Bei Einsatz von Fahrzeugen mit größeren Energiekapazitäten werden aus Gründen der Gewichtsbeschränkung keine Pantographen verbaut. Dadurch würde die betriebliche Flexibilität beim Fahrzeugeinsatz sehr eingeschränkt sein.

Wesentlich allerdings ist zudem der Aspekt, dass die Fahrzeuge bei Nachlademöglichkeit im Streckennetz weniger Energiekapazität und somit eine kleinere Batteriegröße benötigen. Daraus folgt:

- ressourcenschonender Einsatz von Rohstoffen und Halbfertigprodukten.

  Zum Vergleich:
  Batterie für hohe Reichweite (reine Depotladung) → knapp 700 kWh; rd. 5,2 to.
  Batterie mit mittlerer Reichweite (Kombilösung) → ca. 400 kWh; rd. 3,2 to.

- finanzieller Vorteil durch geringere Investitionskosten kleiner Batterien und deren Austausch nach Ablauf der Einsatzdauer von ca. acht bis neun Jahren.

- Allein schon der vorstehende Aspekt rechtfertigt die Mehraufwendungen für die dezentrale Ladetechnik an den Endhaltestellen.

- Wegen der geringeren Gewichtslast der kleineren Batterien um ca. 2,0 to. ist die mögliche Mitnahmekapazität von Fahrgästen nicht weiter eingeschränkt, die Fahrdynamik deutlich besser und der spezifische Energieverbrauch geringer.

Erwähnt werden muss, dass bei beiden Varianten die technische Unterstützung der Leistungsbatterien mit Zusatzheizungen notwendig bleibt, damit die Einsatzbedingungen erfüllt werden können. Daher werden die Fahrzeuge so parametrisiert, dass dem System ein maximaler spezifischer Verbrauch vorgegeben wird, und das Fahrzeug die Zusatzheizung immer dann zuschaltet, wenn diese elektrische Verbrauchsgrenze überschritten wird. Vorhersehbar ist, dass bei Außentemperaturen oberhalb von ca. +5 °C keine Zusatzheizung zugeschaltet werden muss und die Heizung/Klimatisierung des Fahrgastinnenraumes rein mit elektrischer Energie erfolgt; bei Temperaturen unterhalb von ca. +5 °C unterstützt die Zusatzheizung dann im Bedarfsfall.

Die KVG wird in diesem Zuge die eingesetzte Kraftstoffart für die Zusatzheizungen von Heizöl zu GTL (gas-to-liquid) wechseln. Dieser synthetische Kraftstoff zeichnet sich dadurch aus, dass er frei von Schwefel, aromatischen Verbindungen und organischem Stickstoff ist und deshalb wesentlich bessere Abgaswerte (weniger NO_x und keine Partikelmasse) nachweist. Zudem entstehen keine herstellungsbedingten CO_2-Emissionen wie bei herkömmlichen Kraftstoffen.

Das Thema Brennstoffzellentechnologie mit Wasserstoff als Energieträger konnte sich bislang noch nicht annähernd als ‚best-case' identifizieren, zumal in der Kieler Region Wasserstoff nicht als ‚Abfallprodukt' aus beispielsweise der chemischen Industrie zur Verfügung steht. So ist die weitere Forschung & Entwicklung dieser Form der Energiespeicherung und -nutzung weiterhin zu betrachten. Sie stellt jedoch für das Los „KVG E-Bus 3.0" noch leider keine Alternative dar.

IV. Konzeptfortschreibung 2023 bis 2024 - „KVG E-Bus 3.0“

Fahrzeuge:

	Batteriekapazität (netto)	Reichweite	Leistungs-aufnahme	Inbetrieb-nahme
30 E-GW	250 - 300 kWh	ca. 150 km	>300 kW	1. Hj. 2024

Ladeinfrastruktur auf

a) Betriebshof Diedrichstraße:

30 Depotlader (à 150 - 250 kW)	Ende 2023
Veränderter Anschluss an das Mittelspannungsnetz der SWK Netz GmbH	Ende 2023

b) Endhaltestellen:

	Anzahl Lader	Linien	eingesetzte Fahrzeuge (ca.)	Frequenz	Inbetrieb-nahme
StrandOrt	2 HPC	Li. 91; Schnellbus	7 - 10 GW	3 Fz./h	Mitte 2023
Schilksee, Olympiaz.	4 HPC	Li. 12, 13, (Shuttle)	16 GW (2 NW)	10 Fz./h	Ende 2023
Roskilder Weg	3 HPC	Li. 14, 15	16 GW	6 Fz./h	Ende 2023

Abb. 8 - KVG E-Bus 3.0

Das Teilprojekt „E-Bus 3.0“ beinhaltet die Beschaffung von 30 batterieelektrischen Gelenkbussen mit einer relativ kleinen Batterie, einer ausreichenden Reichweite und mit noch ausreichender Leistungsaufnahmefähigkeit bei der Nachladung an Endhaltestellen sowie die entsprechende Ladeinfrastruktur auf dem Betriebshof Diedrichstraße und an weiteren Endhaltestellen. Die in dem vorstehenden Kapitel genannten System- und Preisvorteile werden somit vollständig fortgeschrieben

Mit diesem Beschaffungslos werden die restlichen Diesel-Fahrzeuge des Baujahres 2010 und die Diesel-Fahrzeuge der Baujahre 2011 und 2012 ersetzt (Abstellung Betriebshof Diedrichstraße).

Der E-Bus-Anteil der KVG wäre dann plangemäß auf rd. 50 % gestiegen.
Um die Fahrzeuge auch auf dem Betriebshof Diedrichstraße laden zu können und die vornehmliche Aufgabe des Kalibrierens und Balancierens der Batteriezellen mit der dafür notwendigen Zeit durchführen zu können, ist eine Hälfte der Abstellhalle auf dem Betriebshof mit Ladetechnik, Traversen und Ladehauben auszurüsten – s. nachfolgende Abbildung 9.

Zudem ist die Erhöhung der Anschlussleistung des Betriebshofes mit einer gesonderten Mittelspannungsleitung notwendig. Die genaue Auslegung ist mit der SWKiel Netz GmbH abzustimmen.

Die Leistungsfähigkeit des MS-Netzes für ‚Schilksee, Olympiazentrum' und ‚Roskilder Weg' wurde seitens SWKiel Netz GmbH bestätigt. Eine MS-Zuleitung für die in Friedrichsort neu geplante Endhaltestelle ‚StrandOrt' ist bei der Umgestaltung des MAK-Areals mit vorzusehen.

Abb. 9 - Ladetechnik in der Abstellhalle

V. Investitionsaufwand

Der Projektschritt

- E-Bus 3.0 (30 E-GW / 3 Endhaltestellen / 20 Ladepunkte Betriebshof)

umfasst ein Investitionsvolumen in Höhe von rd. 37,0 Mio. Euro.

Absehbar ist, dass bei einem positiven Bescheid eine Förderung der Fahrzeuge von 80 % der Mehrkosten gegenüber konventionellen Dieselbussen und 40 % der Investitionen für die Ladeinfrastruktur möglich ist. So kann eine Förderung in Höhe von ca. 17,5 Mio. Euro erreichbar sein; und es ergibt sich ein Eigenanteil in Höhe von rd. 19,5 Mio. Euro.

In den Angaben, die einen sehr konservativen Ansatz verfolgen, ist eine 15-jährige Verfügbarkeitsgarantie in Bezug auf die Batterien enthalten. Dieser Aspekt erscheint aus heutiger Sicht der Risikoverteilung noch empfehlenswert und sollte bei der Beantragung von Fördermitteln und der Ausschreibung der Fahrzeuge berücksichtigt werden.

Nicht gefördert sind entstehenden Aufwendungen für den Umbau der Endhaltestellen, die in dem genannten Investitionsvolumen auch nicht erfasst sind, und Aufwendungen für Anschlussmaßnahmen an das Mittelspannungsnetz sowie die Leistungserhöhung für den Betriebshof Diedrichstraße.

Bei einem positiven Beschluss dieses Fortschreibungskonzeptes durch den Aufsichtsrat der KVG und den Beschlussgremien der Landeshauptstadt Kiel, wird die KVG beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur entsprechende Fördermittel beantragen.

Der Beschluss wird in Form eines Grundsatzbeschlusses gefasst und ist abhängig von der Erreichbarkeit der Fördermittel. Umgesetzt wird der Grundsatzbeschluss durch Einzelbeschlüsse im KVG-Aufsichtsrat und im Hauptausschuss über die Wirtschaftspläne.

Sofern das anstehende Förderprogramm des BMVI entsprechende Mittelverwendungsfristen bis Ende 2025 oder sogar in das Jahr 2026 hinein ermöglicht, wären bereits jetzt schon im Zuge der Beantragung von Fördermittel für das Projekt ‚E-Bus 3.0‘ auch die möglichen Fördermittel für das Projekt ‚E-Bus 4.0‘ zu beantragen (18 NW und Ladetechnik auf dem Betriebshof Diedrichstraße). Näheres hierzu s. Kap. VII.

VI. Nutzen- / Kosten-Vergleich

Bereits im 1. Sachstandbericht der KVG von Januar 2020 (Drs. 0129/2020; siehe auch www.e-bus.kvg-kiel.de) ist ausführlich auf den Vergleich der wesentlichen Bestandteile der Lebenszykluskosten (LCC) eingegangen worden und es wurde eine Zusammenfassung über die unterschiedlichen Ansätze der Nutzeneffekte gegeben.

Bei einem Kostenvergleich sind unter Beachtung der Einsatzdauern im Wesentlichen folgende jeweiligen Parameter gegenüber zu stellen:

- Projektkosten
- Investitionen (inkl. Kapitalkosten)
- Infrastrukturkosten
- Reservevorhaltungen; Ersatzteilbevorratung
- Energiekosten (zzgl. Nebenkosten – z.B. CO_2-Steuer)
- Risikokosten für Batterien (oder erweiterte Garantien hierfür)
- Instandhaltungsaufwendungen für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur
- Verwertungserlöse für (Alt-)Busse und Batterien

Der volkswirtschaftliche Nutzen ergibt sich hauptsächlich aus den ökologischen Effekten. Hierbei wesentlich sind:

- Treibhausgas-Kostenansätze für Emissionen
- CO_2- und Umweltkosten für Batterieherstellung
- CO_2- und Umweltkosten für Kraftstofferzeugung
- Vermeidung von Lärm, NOx und Feinstaub
- Recyclingquote bei Endverwertung der Batterien

Die nähere Betrachtung unterschiedlicher CO_2-Kostensätze zeigt die Vielschichtigkeit dieses Themas: Wird unterstellt, dass die Summe aller Maßnahmen zum Erreichen des Zieles einer Stabilisierung der globalen Durchschnittstemperatur auf einen noch erträglichen Wert derart positiv wirken und damit die laufende Klimaentwicklung tatsächlich nachhaltig aufgehalten wird, so kann hierfür ein Zusammenhang ermittelt und monetarisiert werden. Die Höhe dieses Kostensatzes ist dann abhängig von der Wirkung, der Dauer bzw. der Wiederholrate der durch den Betrachtungsgegenstand erzeugten – bzw. in diesem Fall vermiedenen - Schäden.

So geht das Umweltbundesamt auf Basis der „Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten“ [umweltbundesamt.de] aus dem Jahr 2016 und der darauf aufbauenden Grundlagenstudie zu den „Kostensätzen (Best-Practice-Kostensätze) für Treibhausgase, konventionelle Luftschadstoffe, Lärm, Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung, Ökosysteme, Baustoffe, Stickstoff, Phosphor sowie die Emission von Treibhausgasen in der Landwirtschaft einschließlich der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen“ [Astrid

Matthey, Björn Bünger: Kostensätze, Stand 02/2019] von einer Spanne des Treibhausgas-Kostensatzes von 180 €$_{2016}$/t$CO_{2äq}$ bis zu 670 €$_{2030}$/t$CO_{2äq}$ aus.

Nach erfolgter Umstellung des Gesamtfuhrparks der KVG wird die jährliche Verbrennung von rd. 6 Mio. Liter Dieselkraftstoff vermieden werden können, was einer Reduzierung der CO_2-Emission von ca. 15.600 to p.a. gleichkommt. Der mit den genannten THC-Kostensätzen monetarisierte Effekt liegt demnach zwischen 3,2 und 10,5 Mio. Euro jährlich.

Für nähere Ausführungen wird an dieser Stelle auf den vorgenannten 1. Sachstandsbericht der KVG verwiesen.

Die nachstehende Abbildung 10 zeigt schematisch den Nutzen-/Kosten-Vergleich des Projektes der Umstellung einer Busflotte - wie die der KVG - auf elektrisch betriebene Antriebsformen. In dem Segment des ‚betriebswirtschaftlichen Nutzens' ist die für das Verkehrsunternehmen positive Wirkung der Förderung durch das Bundesministerium nicht berücksichtigt.

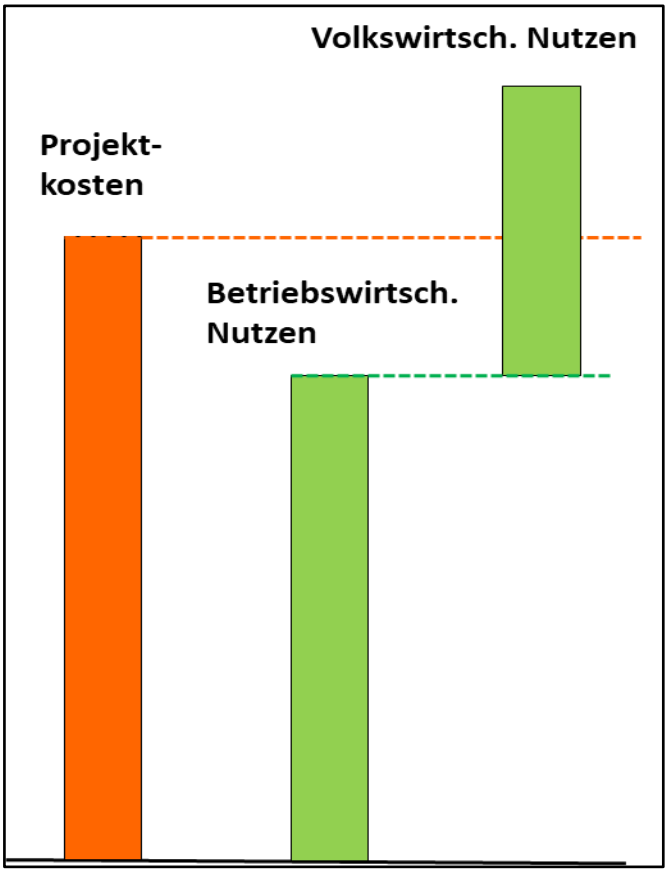


Abb. 10 - Nutzen-/Kosten-Indikation

Mit dieser Vergleichsanalyse wird im Ergebnis nachgewiesen, dass diese Projekte sehr gut begründet sind.

VII. Ausblick

Das Ziel, den Fuhrpark der KVG möglichst bis zum Jahr 2030 vollständig gewandelt zu haben, ist realistisch, jedoch möglichst mit Hilfe des Einsatzes von Fördermitteln zu unterstützen. Sofern für das Projekt „KVG E-Bus 3.0“ Bundesfördermittel in der wie in Kap. V. beschriebenen Größenordnung erreichbar sind, wird dieser Projektschritt auch plangerecht in 2023 (Ladeinfrastruktur) und 2024 (Beschaffung der Fahrzeuge) möglich sein. In dem Falle wären von rd. 200 Linienbussen bereits 100 Stück batterieelektrisch ausgestattet. Zudem wären neben den Maßnahmen auf den Betriebshöfen 10 Endhaltestellen mit Schnellladetechnik bestückt.

Für die folgenden Projektschritte ist weiterhin differenziert zu planen. Zudem müssen dabei die Weiterentwicklungen der Batterietechnologie und des Einsatzes von alternativen Energieträgern (z.B. Brennstoffzelle mit Wasserstoff) stets im Fokus bleiben. Daher ist es nur folgerichtig, dass sich die weiteren Losgrößen in dem Maß bewegen, wie bei den Teilprojekten „E-Bus 1.0, 2.0 und 3.0“.

Ebenso werden die Fortschreibungsschritte beeinflusst sein von den sich bietenden Möglichkeiten der Elektrifizierung weiterer Endhaltestellen und der Notwendigkeit, dieses zu tun. Als weitere Endhaltestellen bieten sich je nach Entwicklungsmöglichkeiten und Stand der Begleitmaßnahmen an, a) für die Linien 61 und 62 eine gemeinsame Endhaltestelle im Bereich des ‚interkommunalen Gewerbegebietes Rotenhof‘ zu schaffen und b) im Zuge des Neubaus eines kleinen ZOB im Bereich ‚Bremerskamp‘ für die Linie 81, weitere Uni-Linien und ggfs. Uni-Shuttle. Alle weiteren Linien müssten ggfs. ohne Nachladestationen verbleiben und die Busse, die dort verkehren, wären als reine Depotlader auszulegen.

Unabhängig künftiger technologischer Entwicklungen sind folgende Überlegungen zu treffen:

Fuhrpark:

Ersatzbeschaffung Bj. 2012 – 2015	18 NW (Depotlader)	**E-Bus 4.0**	**2026**
Ersatzbeschaffung Bj. 2013 – 2015	30 GW (Opp.-Charger)	**E-Bus 5.0**	**2027**

Elektrifizierung Endhaltestellen (je nach Entwicklungsstand):

‚interkommunales Gewerbegebiet Rotenhof‘	für **E-Bus 5.0**	**2026**
‚Bremerskamp‘	für **E-Bus 6.0**	**2027**

Betriebshof Diedrichstraße:

Aufstellung Traversen mit Ladehauben (je 150 kW) auf Teilfläche des Außenbereiches		
für 30 NW	für **E-Bus 4.0** (und 6.0 (15 NW))	**2025**
Traversen mit Ladehauben; zweite Hälfte der Halle (je 150 - 250 kW)		
für 30 GW	für **E-Bus 5.0**	**2026**

Andere Zusammensetzungen der Teilprojekte „E-Bus 4.0 und 5.0“ könnten sich je nach in diesen Jahren aktuellen Förderprogrammen und deren Verwendungsfristen ergeben.

Wegen dieser Unsicherheiten wird an dieser Stelle auch nicht näher auf mögliche weitere Folgeschritte eingegangen.

Die nachstehenden Tabellen geben in anderer Darstellung eine Übersicht über die in der Umsetzung befindlichen und die weiteren, planbaren Teilfortschritte:

E-Bus 1.0 und 2.0 **2020 bis 2022**

Linien

6, 11, 31, 32, 34, 22, 42, 43, 52, 60S, (81), Ortsbus, Einsatzwagen, Reserve	Bedarf: *)	ca. 58 GW / 20 NW

Fahrzeuge:

47 GW / 20 NW / 3 KW (Opp.-Charger)	Ges.-Ist:	47 GW / 20 NW / 3 KW

Endhaltestellen:

Adalbertstraße / Rungholtplatz / Wik, Kanal / Narvikstraße / Albert-Schweitzer-Str. / CITTI-PARK / Schwentinestraße

Betriebshof Werftstraße:

4 HPC / 20 Depotstationen

*) E-Bus-Einsatzmöglichkeiten

Abb. 11 - Zusammenfassung E-Bus 1.0 und 2.0

E-Bus 3.0 **2023, 2024**

Linien
12, 13, 14, 15, 91, Reserve
Ortsbuslinien — Bedarf: *) ca. 40 GW
Ges.-Bedarf: *) ca. 98 GW / 20 NW / 3 KW

Fahrzeuge:
30 GW — Ges.-Ist: 77 GW / 20 NW / 3 KW
(Opp.Charger; mittlere Reichweite)

Endhaltestellen:
StrandOrt / Schilksee, Olympiaz. / Roskilder Weg

Betriebshof Diedrichstraße:
30 Depotstationen (erste Hallenhälfte)
kundeneigene Mittelspannungsleitung

*) E-Bus-Einsatzmöglichkeiten

Abb. 12 - Konzept E-Bus 3.0

E-Bus 4.0 und 5.0 **2025 bis 2027**

Linien
61, 62, Reserve
weitere NW-Linien o. LIS / Ortsbusse — Bedarf: *) ca. 20 GW / 15 NW / 3 KW
Ges.-Bedarf: *) ca. 118 GW / >35 NW /6 KW

Fahrzeuge:
30 GW / 18 NW / 3 KW — Ges.-Ist: 107 GW / 38 NW / 6 KW
(GW - Opp.Charger; mittlere Reichweite)
(NW - Depot/Opp.; hohe Reichweite)

Endhaltestellen:
Rotenhof / Bremerskamp (6.0)

Betriebshof Diedrichstraße:
30 Depotstationen (zweite Hallenhälfte) für GW (E-Bus 5.0)
30 Depotstationen (Außenbereich) für NW (E-Bus 4.0 und 6.0)

*) E-Bus-Einsatzmöglichkeiten

Abb. 13 - Ausblick E-Bus 4.0 und 5.0

Am Ende des Projektschrittes E-Bus 5.0 zu Ende 2027 ist der Fuhrpark zu rd. 75 % gewandelt und hinsichtlich der E-Busse in vier Lose unterschiedlicher technischer Ausprägung eingeteilt:

- 47 GW, Opp.-Charger, kurze Reichweite (nur auf den Linien mit bis zu 20 km einfacher Linienlänge einzusetzen), keine Ladung in der Abstellung, Betriebshof Werftstraße.

- 60 GW, Opp.-Charger, mittlere Reichweite (auf allen Linien mit Nachladung einsetzbar, kurze Umlaufstücke ohne Nachladung), Erhaltungsladung in der Abstellung notwendig – Halle ausgerüstet mit 60 Ladepunkten, Betriebshof Diedrichstraße.

- 20 NW, Opp.-Charger, mittlere Reichweite, (Li. 34, 42, 43, 52, E-Wagen, kurze Umlaufstücke ohne Nachladung); Erhaltungsladung notwendig, Betriebshof Werftstraße.

- 18 NW, Depotlader, hohe Reichweite (alle Linien auch ohne Nachladung); Erhaltungsladung notwendig, Betriebshof Diedrichstraße.

Die Fahrzeuge sind untereinander technisch mit der Ladetechnik kompatibel – und die Ladetechnik ebenso mit den Bussen.

Der erhöhte Aufwand der Zuteilung der Fahrzeuge zu den Linienkategorien wird die Anforderungen an die Disposition etwas steigern. Insofern werden ein Betriebshofmanagementsystem und ein Lastmanagementsystem notwendig sein. Die Vorüberlegungen hierzu sind aufgenommen worden.

Die Planungen der KVG erfüllen die Vorgaben, die sich aus dem 5. Regionalen Nahverkehrsplan (RNVP) und dem Öffentlichen Dienstleistungsauftrag (ÖDA) der KVG mit der Landeshauptstadt Kiel ergeben, vollumfänglich.

Anlage: **Übersicht nach Linien**

Linie	Linienweg	Länge (einfach)	elektrifiziert	Ladeort
2	Oppendorf - Elmschenhagen	14 km		
5	Marienlust - Schulensee	5,6 km	2022	Betr. DStr
6	Wik - Hassee	15 km	Sep 2020	Adalbertstraße und 2023 Roskilder Weg
8	Wellsee - Waldhof	10,7 km	2022	Betr. DStr
9	Wellingdorf - Kronsburg	15 km		
11	Wik - Dietrichsdorf	14,3 km	Mai 2021	Wik, Kanal
12	Strande - Schulensee	22,1 km	Ende 2023	Schilksee
13	Strande - Schulensee	22,2 km	Ende 2023	Schilksee
14	Mettenhof - Laboe	27,1 km	Ende 2023	Roskilder Weg
15	Mettenhof - Heikendorf	22,6 km	Ende 2023	Roskilder Weg
22	Suchsdorf - Klausdorf	17,7 km	Jan 2021	Rungholtplatz
29	Hauptbahnhof - KVG-Betr. Werftstr.	2,5 km	Dez 2021	Betr. Werftstr.
31	Mettenhof - Elmschenhagen	15,5 km	Jul 2021	Narvikstraße
32	Wik - Elmschenhagen	12,9 km	Sep 2020	Adalbertstraße
	Holtenau - Elmschenhagen	9,7 km		
34	Kronshagen - Kroog	14 km	Okt 2021	Albert-Schweitzer-Str.
41	Tannenberg - Meimersdorf	18,7 km		
42	Suchsdorf - Meimersdorf	21,4 km	Jan 2021	Rungholtplatz
43	Hauptbahnhof - Schlüsbek	10,9 km	Dez 2021	Betr. Werftstr.
45	Hauptbahnhof - Rönne	10 km		
50	Botanischer Garten - Hassee	8,7 km		
51	Reventloubrücke - Hassee	8 km		
52	Hauptbahnhof - Krummbogen	6,5 km	Herbst 2021	CITTI-PARK
55	Hauptbahnhof - CITTI-PARK	3,4 km	Herbst 2021	CITTI-PARK
61	Suchsdorf - Mettenhof	19,8 km	2026	interkomm. Gewerbegebiet Rotenhof
62	Projensdorf - Russee	16,7 km	2026	interkomm. Gewerbegebiet Rotenhof
71	Kronshagen - Elmschenhagen	13,8 km		
72	Kronshagen - Wellingdorf	16,6 km		
81	Suchsdorf - Botanischer Garten	14,1 km	Jan 2021	Rungholtplatz und 2027 Bremerskamp
91	Friedrichsort - Melsdorf	27,9 km	Mitte 2023	StrandOrt
30S	Strande - Hauptbahnhof	17,8 km		
60S	Botanischer Garten - Schwentinestraße	12 km	2022	Schwentinestraße
90S	Falckensteiner Strand - Hauptbahnhof	16,4 km	Mitte 2023	StrandOrt
92S	Strande - Laboe	37,5 km		

Planungsstand Januar 2022