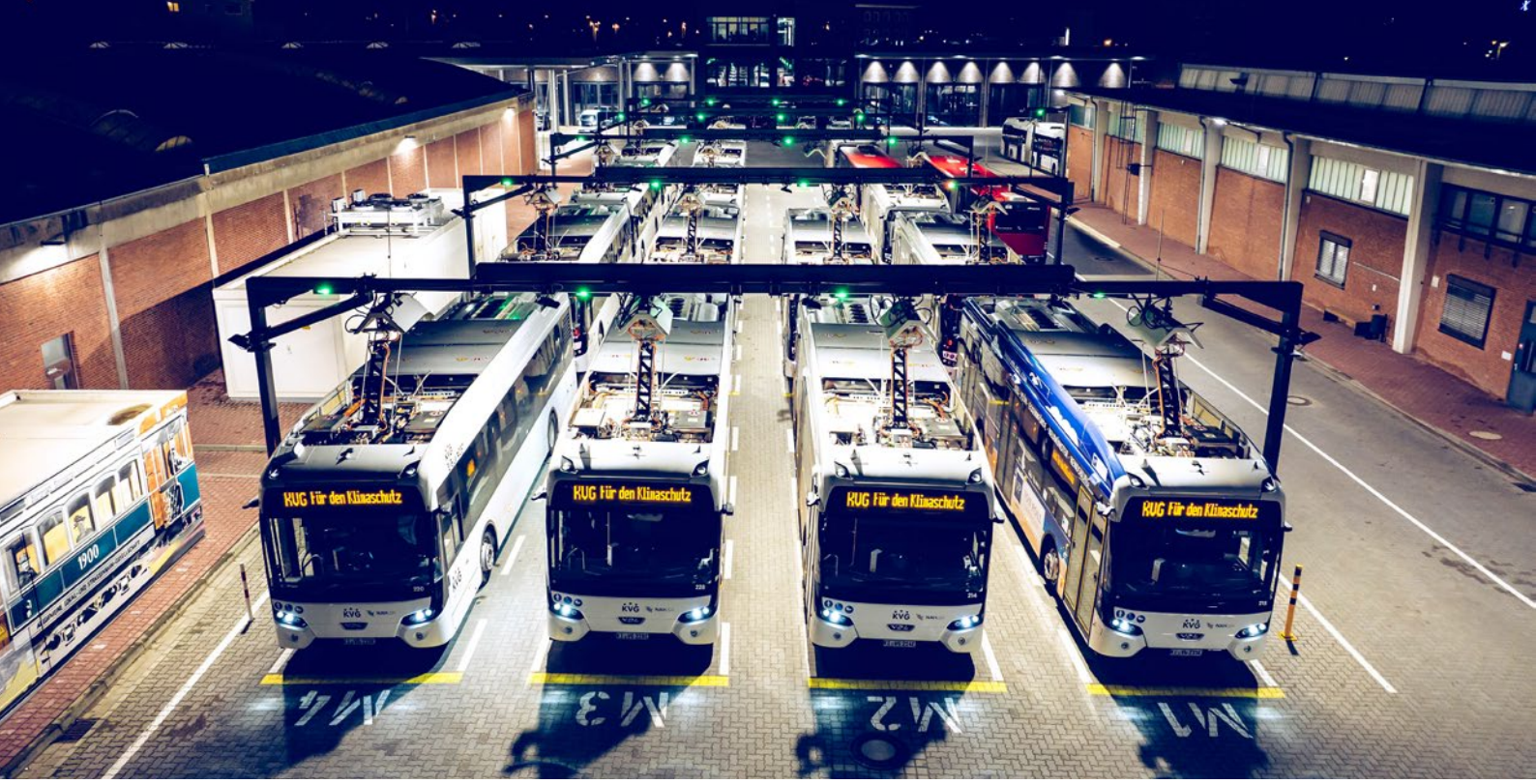

Abb. 1: Ladetraversen auf dem Betriebshof Werftstraße. Abbildungen: KVG

Laden, so oft es geht – Opportunity Charging funktioniert und macht Sinn

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Thomas Mau, Dipl.-Betr.wirtin (BA) Anneke Borchert, Dipl.-Betr.wirt (FH) Hauke Evers; Kiel

Die Verkehrsunternehmen sind aufgerufen, ihren Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen zu leisten. Zum einen durch attraktive Beförderungsangebote, die mehr Menschen zum Umstieg auf den ÖPNV bewegen, zum anderen durch die spürbare Senkung des eigenen CO_2-Ausstoßes. Aktuell gilt Elektromobilität als wichtiger Hebel, um dieses Ziel zu erreichen. Viele Verkehrsunternehmen gehen in diese Richtung und bauen ihre Flotten um. Zu den Pionieren der E-Mobilität im deutschen ÖPNV zählt auch die Kieler Verkehrsgesellschaft mbH (KVG).

Die KVG folgt dabei einem Technologie-Konzept, das viele Vorteile bietet und dennoch selten genutzt wird: Opportunity Charging plus aktives Balancing. Opportunity Charging bedeutet, die Fahrzeuge im Linienbetrieb mit elektrischer Energie zu versorgen. Die dafür nötigen High-Power-Charger (HPC mit zirka 420 kW) sind an Endhaltestellen und im Depot installiert. Die aktuell 67 E-Busse der KVG verteilen ihre Tankprozesse so über 24 Stunden und auf das gesamte Stadtgebiet. Auch das notwendige Batterie-Balancing erfolgt bei einem Teil der E-Bus-Flotte unterwegs statt im Depot. Mit aktivem Balancing lassen sich bedeutende Investitionen in die Depot-Ladetechnik einsparen.

Gerüchte – und was daran ist

Aber bringt Opportunity Charging nicht nennenswerte Nachteile mit sich? Einige der Argumente: Die benötigten Reichweiten bekomme man nur durch das langsame Laden in der Abstellung und mit maximal möglichen Energiekapazitäten hin. Zudem sei es teuer und aufwändig, an Endhaltestellen Ladeinfrastrukturen (LIS) aufzubauen und die Menschen vor Ort dafür zu gewinnen. Außerdem verkürze das High-Power-Charging die Lebenszeit der Batterien. Schließlich wird angenommen, man brauche bis zu 10 Prozent mehr Fahrzeuge, um die Ladezeiten im Betrieb zu kompensieren.

Hinter manchen dieser Argumente stecken Herausforderungen, die sich nach den Kieler Erfahrungen gut meistern lassen. Andere „Nachteile“ erweisen sich in der Praxis als inexistent oder verkehren sich sogar in Vorteile. Das einzige echte Problem liegt derzeit in der Beschaffung von E-Bussen, deren Batterien auch aktives Balancing in Kombination mit Schnellladefähigkeit können – was sehr schade ist. Doch dazu später mehr.

Der Umbau und seine Gründe

Wie kam die KVG eigentlich dazu, sich für Opportunity Charging und aktives Balancing zu entscheiden? Ein Anstoß war die großzügige Förderung durch zwei Bun-

Nutzung unter https://www.kvg-kiel.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media Group, 2024

desministerien nebst Begleitforschung. Am Ende sind fast 55 Mio Euro an Fördergeldern geflossen (siehe Infokasten auf Seite 62). Ein weiterer Anstoß kam durch die fällige Modernisierung der beiden Betriebshöfe. Für den Betriebshof Werftstraße gab es harte Auflagen in Sachen Lärm- und Denkmalschutz. Die KVG suchte nach Lösungen, um den zentralen, traditionsreichen Standort nicht aufgeben zu müssen und ihn dennoch modernisieren zu können.

Der geforderte Lärmschutz ließ sich durch den Umstieg auf E-Busse erreichen, aber Dutzende von Depotladern in eine denkmalgeschützte Abstellhalle bauen? Unmöglich. Das schärfte den Blick für Alternativen. So wurde Kiel, neben Münster, Köln und Osnabrück, zum Pionier des Opportunity Charging in Deutschland. Und überhaupt das einzige deutsche Verkehrsunternehmen, das einen größeren Teil der E-Flotte – die 47 Gelenkbusse – komplett ohne Laden in der Abstellung betreibt. Vorbedingung war natürlich, dass zumindest ein Bushersteller, die VDL Bus & Coach, Batterien mit den notwendigen Eigenschaften liefern konnte.

Der erste große Projektabschnitt wurde 2022 abgeschlossen. Dazu mussten mehrere Projektstränge koordiniert vorangetrieben werden:

- der auflagengerechte Um- und Ausbau des Betriebshofs Werftstraße zum E-Bus-Standort für 100 Fahrzeuge, davon aktuell 47 E-Gelenk- und 20 E-Solobusse, mit Neubau der Hauptwerkstatt (bei laufendem Betrieb; Bauherr: die Landeshauptstadt Kiel),
- Aufbau der LIS auf Freiflächen des Betriebshofs Werftstraße und an sieben Endhaltestellen im Stadtgebiet,
- Ausschreibung, Beschaffung und Implementierung des ersten Teils der neuen E-Bus-Flotte in enger Kooperation mit dem Hersteller VDL Bus & Coach BV, der SBRS GmbH (Ladeinfrastruktur und -management) und der Schunck GmbH & Co. KG (Pantographen),
- offensive Kommunikation und Dokumentation des E-Flottenaufbaus und der LIS-Maßnahmen auf einer eigenen Website *www.e-bus.kvg-kiel.de*.

Das Konzept war seit 2017 von der KVG selbst entwickelt worden, die Umsetzung folgte 2019 bis 2022. Ein gewisser Zeitdruck entstand durch die Förderfristen. Erfolgsfaktoren waren der Rückhalt in der

Zum Autor

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Thomas Mau ist seit 15 Jahren Leiter Betrieb und Technik sowie Prokurist, Betriebsleiter BOKraft und Verkehrsleiter der KVG Kieler Verkehrsgesellschaft mbH. Zuvor hatte er über zehn Jahre die Funktion als ÖPNV-Aufgabenträger der Stadt Kiel inne.

Zur Autorin

Dipl.-Betr.wirtin (BA) Anneke Borchert ist seit 2019 bei der KVG als Geschäftsleitungsassistenz und im Projektmanagement unter anderem für das E-Bus-Projekt tätig. Sie war zuvor über 18 Jahre bei Nahverkehrstöchtern der DB AG im Norden Deutschlands aktiv.

Zum Autor

Dipl.-Betr.wirt (FH) Hauke Evers ist Prokurist und seit 2008 Kaufmännischer Leiter bei der KVG. Zuvor war er in einer Wirtschaftsprüfungsgesellschaft tätig.

Abb. 2: Betriebshof Werftstraße nach dem Umbau mit der neuen Zentralwerkstatt (siehe beleuchtetes Gebäude im Vordergrund).

Nutzung unter https://www.kvg-kiel.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media Group, 2024

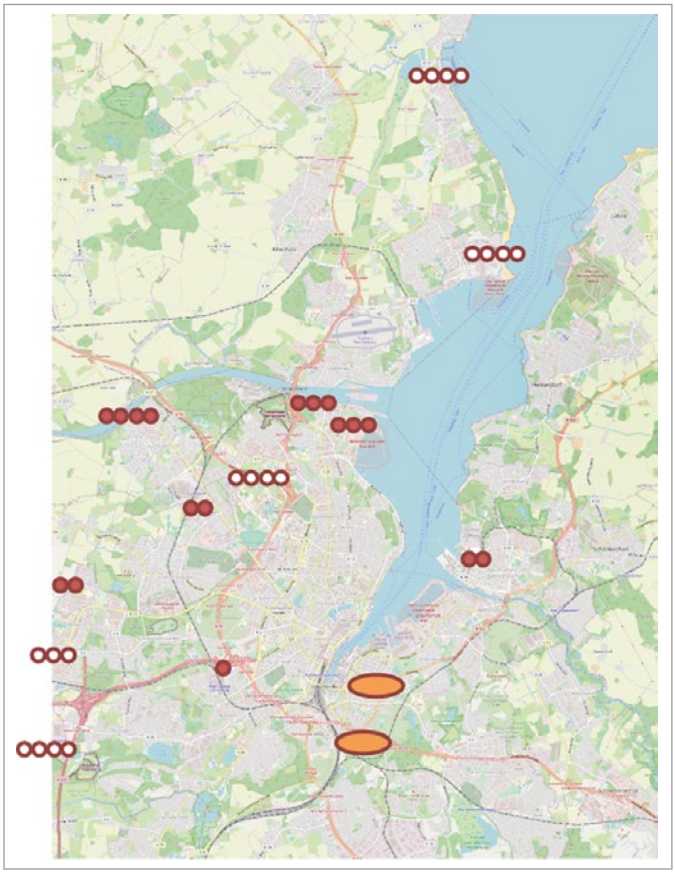

Abb. 3: Karte der Ladestationen im Kieler Stadtgebiet einschließlich der beiden Betriebshöfe. Die hellen Kreise stehen für geplante beziehungsweise im Bau befindliche Ladepunkte.

Politik, das hervorragende Teamwork aller Stakeholder, leistungsfähige Partner auf Seiten der Industrie, hohe Zustimmung in der Landeshauptstadt und nicht zuletzt in der eigenen Belegschaft. Dass es bis dato hervorragend geklappt hatte, fanden auch externe Fachleute: Die KVG erhielt den „E-Bus Award 2022" des Forums für Verkehr und Logistik. Begründung: der zügige Flottenumbau und die informative Dokumentation.

Nach dem Spiel ist vor dem Spiel

Viel Zeit zum Feiern blieb nicht. 2023 ist die KVG in die zweite Projektphase gestartet: Umbau des Betriebshofs Diedrichstraße (unter anderem Ausstattung mit 43 Ladestationen), Aufstockung der E-Bus-Flotte von jetzt 70 auf dann 130 Fahrzeuge, Ausbau von LIS an fünf weiteren Endhaltestellen bis Mitte 2025. Die insgesamt zwölf LIS-Endhaltestellen werden am Ende so ausgelegt sein, dass sie Kapazität für ungefähr 40 weitere E-Busse im Opportunity-Betrieb bieten – Busse, die in den Beschaffungsjahren 2026 bis 2028 ohne weiteren LIS-Ausbau implementiert werden können. Dann werden rund 80 Prozent der KVG-Flotte fossilfrei fahren.

Ab 2028 könnte bereits der nächste Technologiesprung ins Haus stehen (das wird aktuell in einer Variantendiskussion erwogen): der Umstieg auf Busse, die mit grünem Wasserstoff, großen Brennstoffzellen und kleinen Batterien fahren. Ein regionales Wasserstoff-Netzwerk bildet sich gerade (***www.hy.land/hyexpert-ii-kielregion***), erste Konzepte entstehen. 2030 will die KVG komplett fossilfrei unterwegs sein.

Es rechnet sich – in mehr als einer Hinsicht

Bisher hat die KVG rund 150 Mio Euro für den Umbau ausgegeben. Dafür hat sie einen großen Teil der Busflotte elektrifiziert (wenn man die 2017 – 2019 beschafften 33 Volvo-Hybridbusse dazurechnet: mehr als die Hälfte) und den zentralen Betriebshof umgestaltet. Die batteriebetriebenen Busse fahren mit zertifiziert grünem Strom, also emissionsfrei. Die genannten Hybridbusse sparen 25 Prozent Diesel durch die Rekuperation von Bremsenergie. Schon jetzt, Mitte 2023, hat die KVG gegenüber dem reinen Diesel-Betrieb insgesamt über 10.000 Tonnen CO_2 eingespart. Laut einer Studie von 2016 („Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten", ***www.umweltbundesamt.de***) wird jede Tonne freigesetztes CO_2 über drei Generationen nachwirken. Wenn man diese Schäden äußerst konservativ mit 180 Euro pro Tonne beziffert, kommen im Lauf der Jahre riesige Einsparungen heraus. Wahrscheinlich ist der Positiveffekt jeder eingesparten Tonne CO_2 aber noch um ein Vielfaches höher.

Auch die betriebswirtschaftliche Bilanz kann sich sehen lassen. Die Kosten für

Abb. 4: Die Ladestationen am Rungholtplatz im Kieler Nordwesten.

Nutzung unter https://www.kvg-kiel.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media Group, 2024

Abb. 5: Einer der E-Arbeitsplätze in der neuen Zentralwerkstatt auf dem Betriebshof Werftstraße.

Diesel sind aus bekannten Gründen stark gestiegen, seit 2021 schlägt der im BEHG fixierte CO_2-Preis zu Buche (er wird von derzeit 30 Euro/t CO_2 kontinuierlich weiter steigen). Einsparungen wegen nicht benötigter Depotladestationen in Höhe von zirka 9 Mio Euro konnten realisiert werden. Statt der unterstellten 10 Prozent Zusatzfahrzeuge zur Kompensation der Ladezeiten kommt die KVG mit 2,5 Zusatzfahrzeugen aus, also weniger als 5 Prozent – ein vertretbarer Aufwand. Zudem birgt das Opportunity Charging den Vorteil, dass man die Batteriekapazität im Vergleich zum „Depotlader" kleiner auslegen kann. Vorteile bei Materialeinsatz, Gewicht und Kosten sind die Folge. Stellt man die Fördermittel und die ohnehin fälligen Bus-Neubeschaffungen in Rechnung, wird die KVG spätestens am Ende der Einsatzzeit der Busse den Break-Even-Punkt erreichen.

Wenn man auch die ökologischen Effekte monetarisiert berücksichtigt, so weist das Projekt einen Nutzen-/Kosten-Indikator von deutlich über 1,0 aus – was die Sinnhaftigkeit eindrücklich unter Beweis stellt. Notwendig ist der Transformationsprozess ja ohnehin. Die Ergebnisse sind im Abschlussbericht zur „Programmbegleitforschung Innovative Antriebe und Fahrzeuge" des BMDV aus dem Jahr 2021 nachzulesen (abrufbar unter ***www.now-gmbh.de***).

Herausforderungen des LIS-Aufbaus

Voraussetzung für das Opportunity Charging ist ein intelligentes Lastmanagement. Das von der SBRS entwickelte System priorisiert unter den verschiedenen Funktionen auf dem Gesamtbetriebshof. Dabei schaut es im Minutentakt, welcher Bus an welcher Ladestation steht, und verteilt die verfügbare Energie nach dem Prinzip „first come, first serve". Analog wird mit den Ladepunkten der Endhaltestellen verfahren. Auch dort kann es vereinzelt vorkommen, dass die verfügbare Leistung limitiert ist.

Da das Laden nur wenige Minuten dauert und die Distanzen bis zum nächsten Ladepunkt meist kurz sind (40 bis 60 km), reichen die Ladevorgänge während der regulären Wendezeiten völlig aus. Ein E-Gelenkbus der KVG lädt bis zu zwölfmal am Tag. Theoretisch könnte er durchfahren, ohne einen Betriebshof aufsuchen zu müssen. Die regulär nach Schichtende geladenen Kieler Solobusse werden im Mix-Betrieb eingesetzt: Auf mittellangen Umläufen fahren sie ohne Nachladung, auf Linien mit mindestens einer LIS-Endhaltestelle im Opportunity-Betrieb. Die Gesamtverfügbarkeit aller Kieler E-Busse liegt bei rund 96 Prozent, die betriebliche Sicherheit bei den Ladevorgängen bei annähernd 99 Prozent – tolle Werte.

In Kiel gab es übrigens keine Probleme mit dem LIS-Aufbau an Endhaltestellen. Mittelspannung war meist in der Nähe verfügbar. Wo nicht, brachte der Netzbetreiber sie heran. Im offenen Gespräch mit den Stadtteilräten konnte die KVG Vorteile aufzeigen (die Endhaltestellen mit LIS werten ganze Viertel auf) und Ängste zerstreuen (Ladestationen sind völlig ungefährlich und arbeiten, mit entsprechender Zurüstung, so gut wie geräuschfrei). Die Baumaßnahmen wurden durchweg begrüßt. Viele Menschen wollen einen Beitrag zur Energiewende leisten und freuen sich über lärm- und abgasfreie Busanbindungen.

„Batterien sind auch nur Menschen"

Der technologische Engpass Nr. 1 ist die Gesunderhaltung der Batterien, möglichst über viele Jahre hinweg. Ein zentraler Faktor ist die Qualität des Balancing. Die Zellen einer Batterie be- und entladen sich

Nutzung unter https://www.kvg-kiel.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media Group, 2024

unterschiedlich schnell. Werden diese Unterschiede nicht regelmäßig ausgeglichen, nehmen Batterien Schaden. Das Balancing geschieht herkömmlicherweise im Depot, direkt nach dem Laden und vor dem Klimatisieren. Die in den Kieler Gelenkbussen verwendeten Batterien gleichen die Spannungsunterschiede hingegen während der Fahrt aus (aktives Balancing). Eine Verfahrensvariante, die sich in Kiel als ideale Ergänzung zum Opportunity Charging erweist.

High-Power-Charging „stresst" Busbatterien mehr als das langsame Laden über Nacht. Die Ansprüche an die Batterieperformance im Opportunity Charging sind beträchtlich: Die hohe Ladeleistungsfähigkeit (dauerhaft circa 400 kW über 15 Minuten) muss auch bei reduziertem Energieinhalt, am Ende des Batterielebens und unter widrigen Bedingungen gegeben sein. 150 km Reichweite – auf städtischen Linien ausreichend – ist der Sollwert. Hinzu sollte die Fähigkeit zum aktiven Balancing kommen. Die Kieler Erfahrungen zeigen: Das funktioniert schon heute. Optimal wäre es, wenn Bushersteller künftig Batterien einsetzen könnten, die mit alternativen Stoffzusammensetzungen eine noch höhere Energiedichte erzielen.

Ausblick und Appell

Während die Batterietechnik voranschreitet, offenbart die jüngst abgeschlossene zweite KVG-Ausschreibung einen bedenklichen Trend. Ein vielversprechender Hersteller ist komplett aus dem europäischen Busmarkt ausgestiegen. Die VDL, die das Rennen erneut gemacht hat, konnte aktives Balancing im Konglomerat der Gesamtanforderungen nicht mehr anbieten. Das zu einem Zeitpunkt, wo immer mehr Verkehrsunternehmen nach Alternativen zum Depot-Charging suchen. Es spricht sich langsam herum, wie zuverlässig, elegant und effizient Opportunity Charging funktionieren kann. Die Ergebnisse der BMDV-Begleitforschung zielen in dieselbe Richtung: Opportunity Charging ist derzeit das Best-Case-Szenario.

Anbieter zieht es dahin, wo der größte Markt lockt. Lässt sich die aktuelle Fehlentwicklung irgendwie umsteuern? Durchaus: Indem die Fahrzeughersteller zusammen mit den Batterieanbietern konsequent weiter an besseren Lösungen arbeiten und dabei nicht nur den großen Absatzmarkt der „Depotlader" im Blick haben. Helfen könnte eine an die eindeutigen Forschungsergebnisse anknüpfende, gezielte Förderkulisse für die weitere Erforschung und Entwicklung von Opportunity-Charging-Modellen.

Davon unabhängig ist die Verstetigung und Aufstockung der Fördermittel unabdingbar: damit der sehr gut eingeleitete Transformationsprozess auch gut weitergeht. Die Hochlaufphase der Flottenumstellungen hat eben erst begonnen, die Beschaffungspreise werden vorerst nicht signifikant sinken. Diese Lücke kann nur der Staat schließen. Es wäre zu schade, wenn die positiven Kieler Erfahrungen eine Ausnahme blieben.

Die KVG und ihr Umbauprojekt im Überblick (Stand 2023)

- 220 Linienbusse (davon 175 Gelenkbusse)
- Knapp 800 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- Circa 12,0 Mio Nwkm pro Jahr
- Rund 30 Prozent Leistungssteigerung in den vergangenen 15 Jahren
- 2017 bis 2019: Beschaffung von 33 Hybrid-Bussen
- Ab 2020: Inbetriebnahme von 70 E-Bussen
- Ausstattung Betriebshof und sieben Endhaltestellen mit LIS
- Bis Mitte 2025: weitere 50 E-Busse, Ausstattung eines weiteren Betriebshofes und weiterer vier Endhaltestellen mit LIS
- Parallel: Neubau Hauptwerkstatt

Eingesetzte Fördermittel:

- Rund 34,3 Mio Euro (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicher- heit, BMUB, weitergeführt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, BMWK)
- Rund 19,9 Mio Euro (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, BMDV)
- Rund 0,89 Mio Euro (Land Schleswig-Holstein)

Zusammenfassung/Summary

Laden, so oft es geht – Opportunity Charging funktioniert und macht Sinn

Die KVG hat den ersten Abschnitt der Elektrifizierung ihrer Flotte erfolgreich abgeschlossen. Während die Batterien der meisten E-Bus-Flotten in der Abstellung geladen und balanciert werden (Depot Charging), hat die KVG sich für das Opportunity Charging entschieden. Ladeinfrastruktur (LIS) gibt es in Kiel derzeit auf dem Freigelände des umgebauten Betriebshofs Werftstraße und an sieben Endhaltestellen. Der Auf- und Umbau hat reibungslos geklappt und wurde durch zwei Bundesministerien und das Land Schleswig-Holstein gefördert. Ein größerer Teil der neuen E-Bus-Flotte – die 47 E-Gelenkbusse von VDL – lädt und balanciert die Batterien ausschließlich unterwegs. Dieses hoch effiziente, in der Begleitforschung als Best Practice ausgewiesene Verfahren bewährt sich in der Kieler Praxis uneingeschränkt. Es ist ein zentraler Baustein, um das erklärte Klimaziel der KVG zu erreichen: komplett fossilfrei bis 2030.

Charging, as often as possible – Opportunity Charging works and makes sense

The KVG company successfully finished the first phase of the electrification of their fleet. While the batteries of most e-bus fleets are charged and balanced in the depot (Depot Charging), KVG has decided for Opportunity Charging. In Kiel, charging infrastructure (LIS) is currently given at the outdoor area of the modified depot Werftstraße and at seven terminal stops. The setup and modification have gone smoothly and were supported by two federal ministries and the state of Schleswig-Holstein. A bigger part of the new e-bus fleet – 47 VDL articulated buses – is charged and balanced exclusively on their trips. This highly efficient process which has been identified as best practice in the accompanying research – is proving its worth in practice in Kiel without reservation. It is a central component to reach the KVG declared climate goal: completely fossil-free by 2030.

Nutzung unter https://www.kvg-kiel.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media Group, 2024