



Abb. 1: Elektrobus der VLP in typischer Landschaft.

Foto: Catharina Höhn

Elektrobusse im ländlichen Raum: VLP startet Sektorenkopplung Energiewirtschaft und Verkehr

Stefan Lösel, Hagenow

Mecklenburg-Vorpommern hat im Vergleich der Bundesländer mit 87 Prozent den höchsten Anteil erneuerbarer Energieerzeugung an der insgesamt im Land installierten Kraftwerksleistung. Schon 2013 deckte das Bundesland seinen eigenen Stromverbrauch bilanziell aus Erneuerbaren Energien und ist heute wichtiger Stromexporteur. Der Ausbau des Stromnetzes konnte mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien nicht immer Schritt halten. Infolge von Netzsicherheitsmaßnahmen kommt es zur Abregelung von Strom aus Erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung. Der an die Anlagenbetreiber zu zahlende Ausgleich belastet über die Netzentgelte die Verbraucher im örtlichen Verteilnetz.

Verkehrsleistungen mit Omnibussen im dünn besiedelten ländlichen Raum Mecklenburg-Vorpommerns sind, abgesehen von wenigen Hauptstrecken, auf die Beförderung von Schülern im Linienverkehr ausgerichtet. Dieser „Schülerlinienverkehr“ weist geteilte Dienste mit Dien-

stunterbrechungen am späten Vormittag auf. Große Teile des Busbestandes sind auch während der Wochenenden und in den Sommerferien nicht im Einsatz. In den genannten Zeiträumen besteht untertägig, wöchentlich oder jährlich das größte Darlehen beziehungsweise Überangebot an Erneuerbaren Energien.

Vor diesem Hintergrund stellt die Elektrifizierung von Busflotten und deren Netzintegration einen notwendigen und wirkungsvollen Schritt zur Kopplung der Sektoren Energiewirtschaft und Verkehr dar. Dies gilt insbesondere für den ländlichen Raum Mecklenburg-Vorpommerns mit seinem lokalen Überangebot an Erneuerbaren Energien. Elektrifizierte Busflotten können zeitweise als Batteriespeicher einer zweiten Bestimmung zugeführt werden.

Über die VLP

Die Verkehrsgesellschaft Ludwigslust-Parchim mbH (VLP) betreibt mit 300 Beschäftigten und 200 Omnibussen den

ÖPNV im Landkreis Ludwigslust-Parchim sowie im Amt Neuhaus des Landkreises Lüneburg. Insgesamt verfügt die VLP über 13 Betriebs- und Außenstellen. Sie erbringt die gesamte Wertschöpfungskette von Verkehrsplanung, Verkehrssteuerung, Verkehrsleistung und Kundenservice bis hin zur Wartung, Reparatur, Reinigung und Betankung beziehungsweise Ladung.

Das Bedienebiet der VLP ist zirka 5000 km² groß. Der Landkreis Ludwigslust-Parchim ist der zweitgrößte Landkreis Deutschlands, weist aber mit einer durchschnittlichen Besiedlungsdichte von 45 Einwohnern je km² die geringste Besiedlungsdichte im Land Mecklenburg-Vorpommern und eine der niedrigsten Deutschlands auf.

22 Prozent der Flotte elektrifiziert

Mit aktuell im Einsatz befindlichen 45 batteriebetriebenen Elektrobusen hat die VLP etwa 22 Prozent ihrer Busflotte elektrifiziert. Sie hat eine Zuwendung

des Bundesumweltministeriums (BMU) in Höhe von 17 Mio Euro zur Anschaffung der Elektrobusse aus dem Sondervermögen des „Energie- und Klimafonds“ (EKF) erhalten. Mit den Mitteln wurden außerdem Ladepunkte und spezifische Werkstattausstattungen beschafft sowie Werkstattumbauten für Dacharbeitsstände vorgenommen. Die VLP hat weitere Mittel des „Europäischen Fonds für regionale Entwicklung“ (EFRE) des Landes Mecklenburg-Vorpommern und ergänzende Projektfördermittel aus dem Landshaushalt in Höhe von 2,85 Mio Euro erhalten, um den Netzanschluss von zwölf Betriebshöfen vornehmen und eine Software für das Lademanagement beschaffen zu können.

Fahrzeugeinsatz

Die Linienverkehre der VLP sind überwiegend nachfrageorientiert ausgestaltet. Der Fahrzeugeinsatz orientiert sich an den Schulanfangs- und -endzeiten und weist an Schultagen eine typische Tagesganglinie auf. Hierbei umfassen die Umläufe eine kurze Schicht am Morgen (durchschnittlich drei Stunden und 90 km Strecke) und eine längere Schicht am Nachmittag (durchschnittlich sechs Stunden und 146 km Strecke) sowie Dienstunterbrechungen am späteren Vormittag von durchschnittlich 3,5 Stunden, so dass die Elektrobusse tagsüber und nachts im Depot nachgeladen werden können.

Die jährliche Laufleistung der eingesetzten Fahrzeuge ist mit durchschnittlich 41.120 km im Vergleich zu Stadtverkehren niedrig. Eine Mindestreichweite von 200 km bei winterlichen Tiefsttemperaturen ist unter den gegebenen Umständen ausreichend.



Zum Autor

Stefan Lösel (49) ist seit 2015 Geschäftsführer der Verkehrsgesellschaft Ludwigslust-Parchim mbH. Zuvor war er 16 Jahre beim Landkreis Nordwestmecklenburg tätig, unter anderem als Geschäftsführer der NAHBUS Nordwestmecklenburg GmbH und Betriebsleiter des Eigenbetriebs Nahverkehr Nordwestmecklenburg. Er hat in Wismar, Rostock und Lüneburg Verfahrens- und Umwelttechnik, Technischen und Integrativen Umweltschutz und Nachhaltigkeitsrecht studiert. Stefan Lösel wurde für sein Engagement zur Einführung der Elektromobilität im ländlichen Raum mit dem EBUS Award 2022 ausgezeichnet.

Netzanschluss

Die VLP plant, jährlich weitere 15 Elektrobusse zu beschaffen. Mit dem Mittelspannungsnetzanschluss aller zwölf im Land Mecklenburg-Vorpommern gelegenen VLP-Betriebshöfe mit einer elektrischen Leistung, die für die gesamte Flotte von 200 Bussen ausgelegt ist, ist die Grundlage für die sukzessive Erweiterung der Elektrobusflotte geschaffen worden.

Die Befürchtung, dass der Netzanschluss von Betriebshöfen im ländlichen Raum oft an Grenzen der Verteilnetze stoßen würde, ist nicht gerechtfertigt. Getrieben durch den rasanten Ausbau der Erneuerbaren Energien ist die Leistung der Verteilnetze in den vergangenen Jahren vervielfacht worden. Der Netzanschluss der dezentralen VLP-Betriebshöfe erfordert lediglich Anschlussleistungen von 630 kW bis 2 MW, während schon eine einzelne Windenergieanlage eine Anschlussleistung von 5 MW und mehr aufweisen kann. Gerade im ländlichen Raum Mecklenburg-Vorpommerns mit vielen einspeisenden Windenergie- und Solaranlagen sind die Busse als Energieverbraucher netzdienlich und seitens der Netzbetreiber gern gesehen.

Der Netzanschluss musste aufgrund der Größe des Bedienegebietes der VLP bei sieben örtlichen Verteilnetzbetreibern beantragt werden. Die Antragsstellung war formularbasiert und einfach, die Umsetzung verlief problemlos. Netzanschlüsse sind Tagesgeschäft der Netzbetreiber und das Verfahren ist hochprofessionalisiert. In einem europaweiten Vergabeverfahren beschaffte die VLP die Transformatoren als eigene Anlagen, die durch die Netzbetreiber angeschlossen wurden.

Die Kosten für den Netzanschluss einschließlich der Beschaffung der Transformatoren beliefen sich auf durchschnittlich 290.000 Euro pro Betriebshof.

Fahrzeuge

Der Einsatz im VLP-Schülerverkehr erfordert eine Fahrzeuggestaltung mit zwei Türen und einer maximierten Anzahl an beguteten Sitzplätzen. Der Bushersteller sollte darüber hinaus eine Reichweite von 200 km im Vortverkehr (SORT 3) bei einer elektrischen Klimatisierung nach der Economy-Kennlinie gemäß Ziff. 1.1 der VDV-Schrift 236 über den gesamten Gewährleistungszeitraum für das Energiespeichersystem garantieren. Eine



Abb. 2: E-Bus an einer Ladesäule in Ludwigslust.

Foto: Gesine Kneetz



Abb. 3: Elektrobusse werden in einem Carport geladen. Foto: Stefan Scholze

Zusatzheizung mit Verbrennung wurde ausgeschlossen.

Zum Zeitpunkt der Bekanntmachung des Vergabeverfahrens im April 2020 war nicht klar, ob es ein entsprechendes Fahrzeug am Markt geben würde. Im Teilnahmewettbewerb gingen acht Bewerbungen von Busherstellern ein, wobei es sich um ein internationales Bewerberfeld handelte. Im Ergebnis des Verfahrens reichten (nur) zwei Bieter zuschlagsfähige Angebote ein, die die hohen Anforderungen der Ausschreibung erfüllten.

Den Zuschlag erhielt der Mercedes-Benz eCitaro. Ausgestattet sind die beschafften Fahrzeuge mit Feststoffbatterien auf der Basis von Lithium-Eisenphosphat mit 378 kWh Kapazität, welche ohne den Einsatz von Nickel, Mangan, Kobalt und Grafit hergestellt werden. Die Fahrzeuge verfügen über radnabennahe Elektromotoren und heizen und kühlen mit elektrischer CO₂-Wärmepumpe. Die VLP-Fahrzeuge sind die ersten von Evo-Bus hergestellten elektrischen Solobusse mit zwei Türen und einer Überlandbestuhlung mit 38 begurteten Sitzplätzen. Die für eine Gesamtlaufleistung von 400.000 km ohne Zeitbegrenzung vom Hersteller garantierte Mindestreichweite liegt, auch bei winterlichen Tiefsttemperaturen von -15 °C und rein elektrisch klimatisiert, bei 200 km ohne Nachladen.

Die streckenspezifischen Energieverbräuche im Fahrbetrieb sind trotz der für Regionalverkehre typischen hohen Durchschnittsgeschwindigkeit von zirka 40 km/h niedrig, weil die batterieelektrische Klimatisierung der Busse, bezogen auf die Fahrstrecke, nicht so stark ins Gewicht fällt wie bei langsameren Stadtverkehren. In einem weiten Temperaturbereich können im Echtbetrieb regelmäßig Reichweiten von 350 km ohne Nachladen realisiert werden.

Lithium-Eisenphosphat-Batterien weisen eine höhere Zyklenfestigkeit als herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien auf. Für diesen Vorteil muss aber eine Begrenzung der Ladeleistung auf maximal 80 kW hingenommen werden, die allerdings über den Gesamtzeitraum des Ladevorganges erzielt werden kann. Hingenommen werden muss auch, dass die Batterien im Depot konstant auf eine Temperatur von 80 °C geheizt werden müssen, was in Abhängigkeit von der Außentemperatur 2 bis 4 kW Heizleistung pro Bus zusätzlich neben der Energie für Antrieb, Klimatisierung und Vorkonditionierung kostet. Bei tieferen Temperaturen verliert der feste Elektrolyt seine Leitfähigkeit, was gegebenenfalls einen zeitaufwändigen Aufheizvorgang bis zur möglichen Wiederbetriebnahme des Fahrzeuges nach sich zieht.

Fahrzeugabstellung und -ladung

Die Abstellung der Elektrobusse erfolgt in Carports oder unter freiem Himmel, soweit Carports erst im weiteren Projektverlauf realisiert werden können. Jedem Elektrobus ist ein eigener Stellplatz mit Ladepunkt zugewiesen. Die Carports sind durch Brandschutzwände segmentiert, um ein Übergreifen eines Brandes auf eine größere Anzahl an Fahrzeugen zu verhindern. Soweit heute an drei Standorten noch herkömmliche Abstellhallen mit bis zu 27 Fahrzeugen verwendet werden, werden diese für eine Abstellung von Elektrobussen nicht genutzt und perspektivisch zurückgebaut.

Sämtliche konventionellen Busse und Elektrobusse sind mit zwei bis drei Funk-Temperatur Sensoren bestückt, die eine schnelle Detektion und Alarmierung im Brandfall ermöglichen sollen.

An den Pilotstandorten Parchim und Ludwigslust realisierte die VLP eine Ladeinfrastruktur mit zentralen 600-kW-Chargern mit jeweils zwölf Ladepunkten. Für die übrigen zehn Standorte sind dezentrale 180 kW-Charger mit bis zu drei Ladepunkten geplant, die im Laufe des Jahres 2023 in Betrieb genommen werden sollen.

Ein bidirektionales Laden und Entladen mit Rückspeisung ins Netz ist heute noch nicht standardisiert und insofern nicht Stand der Technik. Trotzdem kann schon heute im Beschaffungsvorgang darauf hingewirkt werden, dass möglichst viele Hardware-Komponenten bei einem späteren Wechsel zum bidirektionalen Laden und Entladen weiter genutzt werden können und nicht ausgetauscht werden müssen.

Für das Betriebshofmanagement findet die Software IVU.suite der IVU Traffic Technologies AG Anwendung. Das Last- und Lademanagement der IVU.suite befindet sich zurzeit in der Projektumsetzung.

Energiebeschaffung und -kosten

Lademanagement

Die VLP bezieht den zur Ladung der Busse erforderlichen Strom zum Preis der europäischen Strombörse EPEX SPOT SE zuzüglich eines Aufschlages für Ökostrom-Herkunftsnachweise. Durch eine Berücksichtigung der typischen untertägigen Preisschwankungen lassen sich die



Abb. 4: Aufstellung von Chargern in Ludwigslust.

Foto: Stefan Scholze



Abb. 5: Der Carport in Parchim.

Foto: Stefan Scholze

durchschnittlichen Strombezugskosten minimieren. Dafür werden zurzeit einmal wöchentlich die geplanten Stromverbräuche für die 15-min-Zeitabschnitte der kommenden Woche prognostiziert und dieser Stromfahrplan an einen Stromlieferanten übermittelt. Dieser wickelt die mit der Strombeschaffung, Stromlieferung und Abrechnung verbundenen Prozesse für die VLP ab. Stimmen prognostizierte und tatsächlich abgenommene Ladeleistung nicht überein, werden Ausgleichsentgelte fällig.

In der Praxis gelingt eine gute Übereinstimmung, so dass Ausgleichsentgelte zu vernachlässigen sind. Eine Reduzierung des Prognosezeitraumes von einer Woche auf 24 Stunden wird angestrebt, um künftig auch auf wetterbedingte Strompreisschwankungen flexibel reagieren zu können und die Strombezugskosten weiter zu senken.

Lastmanagement

Um Netzentgelte zu reduzieren, sind Vereinbarungen für atypische Netzentgelte nach § 19 Abs. 2 StromNEV mit den örtlichen Verteilnetzbetreibern geschlossen worden. Atypische Netzentgelte bemessen den Leistungspreis nur noch an dem Spitzenwert der Leistungsaufnahme innerhalb von verteilnetzspezifischen Hochlastzeitfenstern, die von den Verteilnetzbetreibern jährlich veröffentlicht werden. Wird innerhalb dieser zeitlich begrenzten Hochlastzeitfenster die Leistungsaufnahme gedrosselt, lassen sich die Netzentgelte um bis zu 80 Prozent reduzieren.

Steuern und Abgaben

Weitere Stromkostenreduzierungen ergeben sich aus der Reduzierung der Stromsteuer für Kraftfahrzeuge im Linienverkehr nach § 9c Abs. 2 StromStG und aus der niedrige-

ren Konzessionsabgabe für Sondervertragskunden nach § 2 Abs. 3 Ziff. 1 KAV.

THG-Quotenhandel

Inverkehrbringer von fossilen Kraftstoffen sind nach § 37a Abs. 4 BImSchG in jährlich steigendem Maße verpflichtet, Treibhausgase (THG) zu reduzieren. Die vorgegebene Reduzierung beträgt 2023 acht Prozent vom Basiswert und steigt bis 2030 auf 25 Prozent. Die Reduzierung kann durch den Einsatz von Biokraftstoffen erfolgen, aber unter anderem auch durch den Kauf von THG-Handelsquoten von Haltern von Elektrofahrzeugen. Werden die Reduzierungen nicht erreicht, werden Strafzahlungen in Höhe von 600 Euro pro Mg CO₂ fällig.

Zur Realisierung der Handelserlöse beauftragt der Fahrzeughalter ein Vermittlungsunternehmen, das die fahrzeugspezifischen Quoten durch das Hauptzollamt zertifizieren lässt und diese an den Mineralölhändler verkauft. Für einen einzelnen Elektrobus lassen sich Quotenerlöse von 11.000 bis 14.000 Euro pro Jahr realisieren.

Praxisbeispiel

In der Woche vom 14. bis 20. November 2022 betrug die durchschnittlichen Kosten an der Strombörse, die im Ergebnis des VLP-Lademanagements erzielt werden konnten, 14,967 Ct. je kWh. Hinzu kamen die Kosten für die Ökostrom-Herkunftsnachweise in Höhe von 0,220 Ct. je kWh. Die Netzentgelte konnten im Ergebnis des VLP-Lastmanagements um 58 Prozent auf 3,400 Ct. je kWh gesenkt werden. Die übrigen Steuern, Abgaben und Umlagen betragen 2,489 Ct. je kWh. Aus dem THG-Quotenhandel resultierte ein Erlös in Höhe von 23,054 Ct. je kWh. In Summe aller Positionen ergaben sich negative Gesamtkosten beziehungsweise ein Erlös in

Höhe von 1,978 Ct. je kWh verbrauchten Strom.

Ausblick

Die langen Standzeiten der VLP-Elektrobusse eignen sich zur aktiven Bewirtschaftung der Fahrzeugbatterie im Stand. Künftig sollen Systemdienstleistungen für die Stromnetze erbracht werden. Dadurch könnte die Sektorenkopplung von Energiewirtschaft und Verkehr weiter verstärkt werden. Außerdem trügen die hiermit zu erzielenden Erlöse zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der elektrifizierten Busflotte bei.

Denkbar sind verschiedene Geschäftsmodelle. Realistisch erscheint die Aggregation der Fahrzeugbatterien zu einem virtuellen Großspeicher, der Regelenergie zur Stabilisierung der Netzfrequenz gegenüber dem Übertragungsnetzbetreiber vermarkten könnte. Realistisch erscheinen auch Leistungen im örtlichen Verteilnetz, wie die gezielte Ladung zur Vermeidung von Netzsicherungsmaßnahmen bei einem hohen Aufkommen an Erneuerbaren Energien, die Bereitstellung von Notstrom oder einer Schwarzstartfähigkeit. Teilweise sind entsprechende Geschäftsmodelle heute noch nicht gesetzlich ausgestaltet oder sie bedürften einer vollfunktionsfähigen bidirektionalen Ladeinfrastruktur.

Die VLP ist Partner im aktuell durchgeführten Forschungsprojekt EUniS (Entwicklung und Umsetzung eines nachhaltigen und innovativen Systemintegrationskonzepts für die Sektorenkopplung von Verkehr und Strom) welches mit Fördermitteln des BMVI durchgeführt wird und eine Laufzeit vom 1. November 2020 bis 31. Oktober 2023 hat. Im Projekt sollen die genannten Geschäftsmodelle entwickelt und technische Voraussetzungen erprobt werden.

Zusammenfassung/Summary

Elektrobusse im ländlichen Raum: VLP startet Sektorenkopplung Energiewirtschaft und Verkehr

Ländliche Regionen weisen ein hohes Aufkommen an Strom aus Erneuerbaren Energien auf. Gleichzeitig müssen Anlagen in Zeiten hohen Aufkommens abgeregelt werden, was die Verbraucher im örtlichen Verteilnetz finanziell belastet. Linienverkehre im ländlichen Raum eignen sich entgegen landläufiger Meinung besonders gut für eine Elektrifizierung und Sektorenkopplung zwischen Energiewirtschaft und Verkehr. Am Beispiel der Verkehrsgesellschaft Ludwigslust-Parchim mbH wird aufgezeigt, wie sich Fahrzeugbeschaffung, Fahrzeugeinsatz, Netzanschluss sowie Betriebshof-, Lade- und Lastmanagement im ländlichen Raum gestalten lassen und dass es möglich ist, „negative Strompreise“ zu erzielen beziehungsweise aus den Erlösen des THG-Quotenhandels die Stromkosten zu decken.

Electric buses in rural areas: VLP launches sector coupling energy industry and transport

Rural areas have a high share of electricity generated from renewable energy sources. However, during periods of high electricity production, the excess power must be curtailed, which financially burdens consumers in the local distribution network. Contrary to popular belief, rural transportation networks are particularly well-suited for electrification and sector coupling between the energy and transportation sectors. Using the example of the Verkehrsgesellschaft Ludwigslust-Parchim mbH, this paper demonstrates how vehicle procurement, deployment, grid connection, as well as depot, charging, and load management can be implemented in rural areas and how it is possible to achieve “negative electricity prices” or to cover electricity costs from revenues generated by trading greenhouse gas emission quotas.