

Optimal geladen in den Umlauf

Wie das Automatisierte Lademanagement der IVU für aktuelle Fahrzeugdaten und sichere Reichweiten sorgt

Dipl.-Ing. Simon Müller, Berlin; Dr.-Ing. Matthias Rogge, Aachen



Abb. 1: Gelegenheitsladung von zwei EvoBus eCitaro G an den 450-kW-Schnellladern [1].

Foto: DVG

Zielladezustand, Abfahrtszeit, Alter der Batterie, verfügbare Gesamtleistung, einsatzbereite Ladesäulen sowie Energiekosten: In der Ladeplanung müssen Verkehrsunternehmen zahlreiche Aspekte berücksichtigen. Jedes Fahrzeug und jeder Betriebshof benötigt die richtige Ladestrategie. Das gilt auch für die Elektrobusse in Duisburg, welche die Duisburger Verkehrsgesellschaft mit dem integrierten Last- und Lademanagementsystem der IVU Traffic Technologies AG (IVU) betreibt.

Das Gesamtprojekt

Seit dem 1. März 2022 setzt die Duisburger Verkehrsgesellschaft AG (DVG) sieben Elektro-Gelenkbusse ein und betreibt damit die gesamte Linie 934 batterieelektrisch [1]. Der Einsatz der umweltfreund-

lichen Elektrobusse spart jedes Jahr rund 1000 Tonnen Kohlendioxid (CO₂) ein und sorgt gleichzeitig für eine deutliche Reduktion von Schadstoff- und Lärmemissionen in der Stadt. Letzteres war für die DVG einer der Gründe, den Busverkehr auf der Linie 934 zu elektrifizieren. Diese führt vom Betriebshof Unkelstein durch die Innenstadt zur Sechs-Seen-Platte im Süden von Duisburg und damit durch Bezirke, die als lärm- und luftbelastet gelten und daher besonders von der Verbesserung der Luftqualität profitieren sollen [1].

Für die Umstellung des Betriebs der Linie 934 auf Elektrobusse erhält die DVG Fördermittel vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) und vom Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR) [2]. Die Daimler-Tochter EvoBus GmbH lieferte die

dafür notwendigen sieben Gelenk-Elektrobusse vom Typ eCitaro. Die benötigte Gesamtkapazität von 330 kWh setzt sich aus zehn Hochvolt-Batteriebaugruppen der neuesten Generation von Lithium-Ionen-Batterien (NMC2) mit erhöhter Energiedichte zusammen [2]. Die EvoBus tritt im Projekt ebenfalls als technisch und kommerziell verantwortliche Generalunternehmerin auf und zeichnet zusammen mit ihren Partnern und Subunternehmern für die Fahrzeuge, das Lademanagement und die Peripherie, inklusive der Ladetechnik, verantwortlich.

Während des Betriebs lassen sich die Fahrzeuge mit einem Pantographen auf dem Vorderwagen an der Ladeinfrastruktur der SBRS GmbH (Schaltbau Refurbishment Systems) auf dem DVG-Betriebshof Unkelstein aufladen [2]. Die Wendezeiten an

der End-Haltestelle „Betr. Am Unkelstein“ werden für Zwischenladungen an zwei 450-kW-Schnellladern an einem T-Mast (Abb. 1) im Außenbereich des Betriebshofs genutzt [3]. Zudem installierte die SBRS für die Nachtaufstellung sieben stationäre Ladegeräte mit Kontakthauben und einer Maximalleistung von 150 kW in der Abstellhalle.

Für das Monitoring und die Steuerung der Ladevorgänge setzt die DVG das Last- und Lademanagement der IVU ein [4], [5]. Mit dem Softwaresystem lassen sich automatisch bedarfsgerechte Ladepläne anhand des Abfahrzeitpunktes erzeugen und die Ladeinfrastruktur mittels Smart-Charging-Ladephasen steuern. Die rechtzeitige Vorkonditionierung des Fahrgastraumes sowie die Lastgrenzen werden bei der Ladeplanberechnung ebenfalls berücksichtigt [5]. Zudem ist das Lademanagementsystem (LMS) mit der Daimler Buses Datenschnittstelle verbunden. So können die Disponenten der DVG alle relevanten Fahrzeugdaten wie den Ladezustand und die Restreichweite in Echtzeit über die Daimler Buses Cloud direkt in dem Softwaresystem überwachen [4].

Lademanagementsystem für den Busbetrieb

Das Last- und Lademanagement der IVU umfasst ausgewählte Funktionen des integrierten Betriebshofmanagementsystems für Elektrobusse und ist daher speziell auf den Busbetrieb zugeschnitten. Im Zusammenspiel mit dem Modul zur Ladeplanberechnung werden Ladephasen definiert und an die Ladegeräte via Open Charge Point Protocol (OCPP) übermittelt. Neben der Batterieladung lassen sich dabei auch Phasen zur Versorgung der Nebenverbraucher, zum Balancing der Batterien und zur Vorkonditionierung einplanen.

In der Ladeplanung hat die Erfüllung der betrieblichen Vorgaben der DVG – und damit die Sicherstellung eines stabilen Betriebs – oberste Priorität. Die einzelnen Schritte der Ladeplanung zeigt Abbildung 2 – von der Ermittlung der betrieblichen Vorgaben bis hin zur Optimierung der Ladephasen.

Die wesentlichen Leitplanken in der Ladeplanung sind die betrieblichen Vorgaben in Form eines Zielladestatus und eines Abfahrzeitpunkts. In der Praxis ist es nicht praktikabel, dass ein Nutzer die Zielgrößen für jeden Ladevorgang manu-



Zum Autor

Dipl.-Ing. Simon Müller arbeitete nach seinem Studium in Verkehrswesen als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Berlin im Bereich der Luftfahrt und Mensch-Maschine-Interaktion. Seit Anfang 2019 ist er als Projektleiter bei der IVU Traffic Technologies AG tätig. Als Experte für Elektromobilität ist er insbesondere in Projekten zur Einführung von Lade- und Betriebshofmanagementsystemen oder zur Umlafoptimierung von Elektrobusen involviert. Unter anderem übernahm er die Projektleitung seitens der IVU in dem im Artikel beschriebenen Projekt zur Einführung des Last- und Lademanagements für die Elektrobusse der Duisburger Verkehrsgesellschaft AG.



Zum Autor

Dr.-Ing. Matthias Rogge, einer der Geschäftsführer der EBS ebus solutions GmbH, entwickelt mit seinem Team aus Softwareentwicklern und Ingenieuren Module zur Energiebedarfsprognose und Ladeplanung. Integriert in dem Komplettsystem IVU.suite sorgen diese Module dafür, dass Elektrobusse schonend, zuverlässig und kosteneffizient geladen werden. Bereits seit 2015 berät er mit der ebusplan GmbH, einem Team aus Elektrobus-Experten, europaweit Verkehrsbetriebe bei der Umstellung auf Elektrobusse. Im Rahmen seiner Dissertation an der RWTH Aachen forschte er zuvor mehr als fünf Jahre im Bereich Batteriesystemtechnik für Elektrobusse und etablierte einen softwaregestützten Prozess zur Systemauslegung.

ell vorgibt. Stattdessen wird ein automatisierter Prozess benötigt. Im LMS der IVU sind zu diesem Zweck drei verschiedene Lösungen umgesetzt, die sich in ihrem Detaillierungsgrad unterscheiden. Ein Regelwerk definiert die Vorgabe von Ladezielen, mit denen abhängig vom Ladepunkt, dem Fahrzeug und dem Zeitraum des Ladebeginns Zielgrößen definiert werden können. Anstatt des Regelwerks kann auch ein Vorkonditionierungssystem (zum Beispiel ein Betriebshofmanagementsystem oder eine Leitstelle) über die VDV-463-Schnittstelle angebunden werden, welches die Zielgrößen übergibt. Die komfortabelste Variante wird durch die Nutzung des integrierten Elektrobus-Betriebshofmanagementsystems (eBMS) ermöglicht, welches den Zielladestatus und die Abfahrtszeit auf Basis der aktuellen Auslastung der Infrastruktur und der geplanten Umläufe bestimmt [6].

Im nächsten Schritt werden technische Modelle der Infrastruktur und der Fahrzeugbatterie genutzt, um das Ladeverhalten

abzubilden. Bereits in diesem Schritt wird klar, ob das jeweilige Fahrzeug den geplanten Zielladestatus überhaupt zum vorgegebenen Zeitpunkt erreichen kann und wie viel Leistung hierzu benötigt wird. Dabei ist zu beachten, dass das Ladeverhalten keineswegs linear ist und sich abhängig vom Batterietyp stark unterscheiden kann. Weiterhin gilt es, den aktuellen Stand der Batteriealterung miteinzubeziehen.

Einhaltung der Leistungsgrenzen

Der Netzanschluss und die nachgelagerte Stromversorgungsinfrastruktur sind in Duisburg so gestaltet, dass diese bereits Reserven für die Erweiterung der Elektrobusflotte bieten. Alle aktuell verbauten Ladegeräte könnten zeitgleich ihre maximale Leistung abrufen, ohne den Netzanschluss zu überlasten. Sollte dies im Rahmen des weiteren Ausbaus nicht mehr der Fall sein, greift die Priorisierungsfunktionalität des LMS. Im Sinne der Maximierung der be-

Vorgaben ermitteln	Automatisierte Ermittlung von Zielladestatus und Abfahrtszeiten → Betriebliche Randbedingungen definieren
Prognose	Ladeverhalten auf Basis des aktuellen SOC und der Zielvorgaben prognostizieren → Frühzeitige Erkennung ob Zielvorgaben eingehalten werden können
Priorisierung	Priorisierung von begrenzter Ladeleistung abhängig vom Ladebedarf → Sicherstellung der besten Leistungsaufteilung zur Erfüllung der Zielvorgaben
Peak Shaving	Reduzierung der aus dem Stromnetz bezogenen Leistung → Minimierung der leistungsbezogenen Netzentgelte

Abb. 2: Smart Charging Funktionalitäten.

Grafik: IVU

trieblichen Stabilität wird Leistung bevorzugt den Fahrzeugen zugewiesen, die den höchsten Ladebedarf haben. Fahrzeuge, die untertägig an den Schnellladeplätzen halten, werden hierdurch höher priorisiert als zeitgleich anwesende Fahrzeuge in der Abstellung, welche erst am Folgetag wieder eingesetzt werden.

Zusätzlich zu den statischen Leistungsgrenzen, die aus der Dimensionierung der Infrastruktur resultieren, können im LMS der IVU auch dynamische Leistungsgrenzen definiert werden. Dies bietet insbesondere in Hochlastzeitfenstern das Potential, die aus dem Netz bezogene Leistung zu reduzieren und damit Netzentgelte einzusparen (atypische Netznutzung).

Kosten sparen durch Peak Shaving

Die Sicherstellung eines stabilen Betriebs ist das primäre Ziel des Lademanagementsystems. Darüber hinaus gibt es jedoch weitere Optimierungspotentiale, die insbesondere die Kostensituation positiv beeinflussen können. Ein zentraler Punkt ist dabei die Peak-Shaving-Funktionalität. Unter diesem Begriff versteht man die Möglichkeit, Lastspitzen zu glätten. Dies erfolgt durch eine zeitliche Verschiebung von Ladephasen und durch eine Reduzierung der Ladeleistung. Die zur Ladung der Elektrobusse benötigte Energie soll

also möglichst gleichmäßig aus dem Netz entnommen werden – denn je geringer die abgerufene Spitzenleistung ist, desto geringer sind die leistungsbezogenen Netzentgelte. Entscheidend ist hierbei der 15-minütige Mittelwert der Leistung am Netzanschluss, der dann die Stromrechnung des Gesamtjahres bestimmt. Positive Nebeneffekte sind dabei die Verringerung der Verluste sowie die Schonung der Fahrzeugbatterien [7].

Monitoring der Ladungen und des Betriebs der Elektrobusse

Ist das Last- und Lademanagementsystem entsprechend eingerichtet und konfiguriert, bedarf es nur weniger manueller Eingriffe. Sobald sich ein Fahrzeug mit einem Ladepunkt verbindet, berechnet das Lademanagement basierend auf der aktuellen Batteriekapazität und anhand der gegebenen Zielparameter sowie der Rahmenbedingungen automatisiert einen passenden Ladeplan. Die definierten Smart-Charging-Ladephasen des Ladeplans werden per OCPP an den Lader übermittelt und dort bei der Ladung des Fahrzeugs entsprechend umgesetzt.

Mithilfe des Ladepunkte-Monitors der IVU (Abb. 3) kann das technische Ladeinfrastruktur-Personal der DVG die aktiven Ladungen jederzeit überwachen. Der Ladepunkte-Monitor zeigt die Verfügbarkeit der

Ladepunkte, Kommunikationsabbrüche oder Fehler der Lader an. Während einer aktiven Ladung lassen sich das angeschlossene Fahrzeug und Details zum aktuellen Batterieladezustand in Prozent sowie weitere Leistungskennwerte darstellen. Letztere werden für jegliche Ladevorgänge aufgezeichnet und lassen sich anschließend in Form von Statistiken exportieren.

Sollte die Verbindung unterbrochen oder ein Fehler der Ladung gemeldet werden, können die Verantwortlichen mit diesen Warnungen per E-Mail oder SMS benachrichtigt werden. Häufig lassen sich einfache Störungen so schon durch einen im Ladepunkte-Monitor aus der Ferne initiierten OCPP-Soft-Reset beheben, sodass sich der Gang zur Fehlerbehebung am Ladegerät vermeiden lässt.

Befinden sich die Fahrzeuge auf der Strecke im Linienbetrieb, werden die relevanten Elektrobus-Kennwerte – wie der aktuelle Batterieladezustand und die Restreichweite – in einer übersichtlichen Tabelle dargestellt. Die Kennwerte werden dazu in Echtzeit von der Daimler Buses Cloud in das lokale IVU-System importiert. Diese Informationen lassen sich für den jeweiligen Einsatzzweck geschickt sortieren und filtern. Durch konfigurierbare Einfärbung der Fahrzeugdaten sind kritische Ladezustände dabei schnell erkannt.

Projektverlauf Lademanagement

Während der Projektbeginn des Gesamtprojekts bereits Ende 2020 stattfand – inklusive Fahrzeugherstellung und Bau der Ladeinfrastruktur – startete das Teilprojekt zur Einführung des Lademanagementsystems erst im Frühjahr 2021. Um bei der Inbetriebnahme Zeit zu sparen, führten die IVU und SBRS schon im Juni 2021 erste Remote-Ladetests durch. Dabei war sicherzustellen, dass die Verschlüsselung, Zertifikate und OCPP-Kommunikation korrekt implementiert waren, um so die Default- und Smart-Charging-Ladepläne des LMS passend umzusetzen. Nach der Installation des LMS in der DVG-Serverumgebung wurden die Schnittstellen zu SBRS und Evobus konfiguriert. Damit waren bereits im Herbst 2021 die Voraussetzungen dazu geschaffen, das LMS direkt nach der Fertigstellung der Ladeinfrastruktur und Lieferung der sieben eCitaros produktiv zu nehmen.

Durch pandemiebedingte Lieferengpässe eines externen Herstellers der Mittelspan-

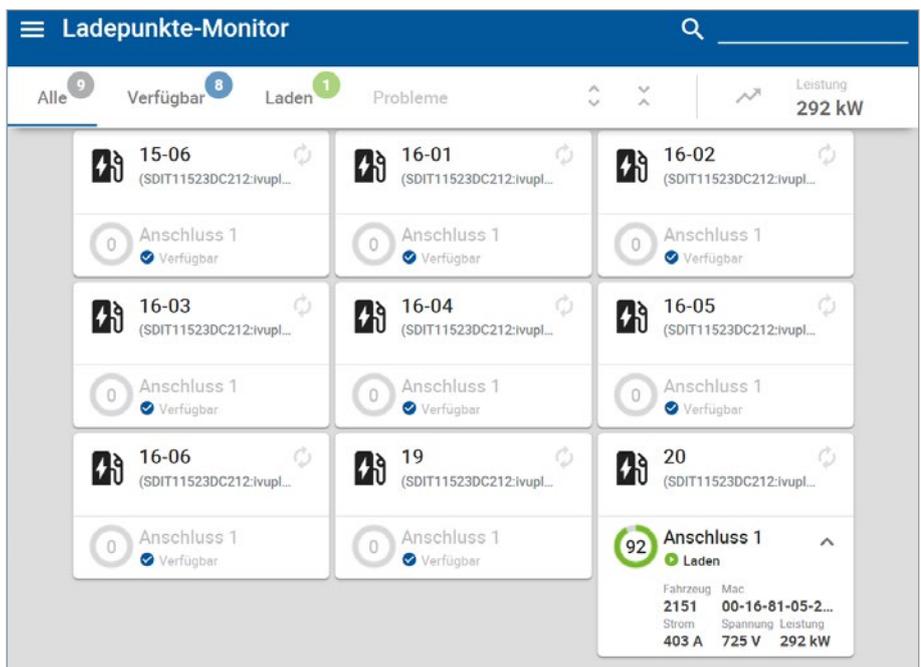


Abb. 3: IVU-Ladepunkte-Monitor: technische Ansicht zur Überwachung der aktiven Ladungen. Grafik: IVU

nungs-Schaltanlage, musste die gesamt-integrative Testphase des Zusammenspiels von Fahrzeugen, Ladeinfrastruktur und Lademanagementsystem deutlich verkürzt werden. Trotzdem gelang es allen beteiligten Unternehmen, den anvisierten Starttermin zur vollständigen Elektrifizierung des Buslinie 934 am 1. März 2022 einzuhalten. Dieser reibungslose und zügige Projektverlauf bei der Einführung des LMS ist unter anderem auf die enge Zusammenarbeit und gute Partnerschaft der hier als Generalunternehmerin auftretenden EvoBus GmbH mit der IVU zurückzuführen. Ähnliche Projekte profitieren von den hier gewonnenen Erfahrungen und können künftig noch zügiger bewältigt werden.

Zukünftige Chancen

Auch bei zunächst überschaubaren Elektrobussen-Flotten ist es sinnvoll, von Anfang an ein Feature-reiches Last- und Lademanagement zu implementieren. Mit einem LMS als Basis sind Verkehrsbetriebe vorbereitet, um ihre Busflotte weiter zu elektrifizieren und dem Ziel eines emissionsarmen Verkehrs immer näher zu kommen. Dabei bleibt die Wahl der Fahrzeug- und Ladeinfrastruktur weiterhin flexibel. Auch ein Mischbetrieb aus Diesel-, Batterieelektro- und Wasserstoffbussen stellt kein Problem dar. Die Berücksichtigung weiterer Betriebshöfe und Endstellen mit neuer Ladeinfrastruktur erfordert lediglich die Erweiterung der Konfiguration des LMS und kann innerhalb kurzer Zeit erfolgen.

Durch den integrativen Ansatz des Last- und Lademanagementsystems der IVU ist es darüber hinaus ein Leichtes, weitere Elektrobussen-Module der IVU.suite zu ergänzen – wie beispielsweise die Elektrobussen-Umlaufoptimierung oder das Betriebshofmanagementsystem. Das aufeinander abgestimmte Zusammenspiel aus Betriebshof- und Lademanagement erlaubt es, Umlauf-Fahrzeug-Zuteilungen nicht nur basierend auf Fahrzeugtyp und -attributen sowie Betriebshof- und Stellplatzbegebenheiten automatisiert durchzuführen. Es ermöglicht, bei der Ermittlung der passenden Zuordnungen die aktuelle Rest-Batteriekapazität, den Energiebedarf des Folgeumlaufs und verschiedene Leistungsgrenzen der Ladeinfrastruktur zu berücksichtigen. Außerdem können die Ladeziele präzise an die folgenden Fahrumläufe angepasst werden. Dies erfolgt auch unter veränderlichen Randbedingungen, die kurzfristige dispositive Maßnahmen erforderlich machen. Mithilfe der zusätzlichen betrieblichen In-

formationen kann das Lademanagement geschickter Lasten verteilen oder vorhalten, um betriebshofübergreifend gut geeignete Ladepläne koordinieren zu können.

Das Last- und Lademanagement bietet somit einen schnellen Einstieg für die Elektrifizierung von Busflotten. Durch die Flexibilität und umfangreiche Kompatibilität der Lösung bietet sie viel Potential für einen zukünftigen Ausbau der Elektrobussenflotte und Ladeinfrastruktur. Damit unterstützt das LMS die Verkehrsunternehmen direkt bei der Mobilitätswende hin zu einem umweltfreundlicheren Nahverkehr und begünstigt den Einsatz von Fahrzeugen, die einen großen Beitrag zur Reduzierung von Lärmpegel und Schadstoffemissionen in Städten leisten.

Literatur / Anmerkungen

- [1] <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/aktuell/elektrolinie-934>, 29.03.2022 um 15:42.
- [2] <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/news/pressemitteilungen/detailseite/dvg-bestellt-sieben-elektrobussen-buslinie-934-wird-2021-komplett-elektrifiziert>, 29.03.2022 um 15:43.
- [3] <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/news/pressemitteilungen/detailseite/sauber-und-leise-dvg-startet-erste-rein-elektrische-buslinie-934>, 29.03.2022 um 15:44.
- [4] <https://www.nahverkehrspraxis.de/e-busse-samt-ladeinfrastruktur-von-daimler-bussen-fuer-die-dvg/>, 29.03.2022 um 15:44.
- [5] <https://www.ivu.de/aktuelles/details/automatisiertes-lademanagement-fuer-die-dvg>, 29.03.2022 um 15:45.
- [6] T. Franke und C. Hein: „Elektromobilität ganzheitlich denken“, DER NAHVERKEHR, vol. 10/2021.
- [7] P. Sinhuber: „Zusammenspiel zwischen Lademanagement und Batteriealterung“, DER NAHVERKEHR, vol. 5/2022.

Zusammenfassung / Summary

Optimal geladen in den Umlauf

Der vorliegende Artikel beschreibt, wie die Duisburger Verkehrsgesellschaft AG mit einem integrierten IT-System bedarfsgerechte Ladepläne erzeugen, die Ladeinfrastruktur steuern und die Vorkonditionierung sowie Lastgrenzen berücksichtigen kann. Zudem wird darauf eingegangen, wie das Peak Shaving die Ladevorgänge effizient verteilt und Faktoren wie Strombezugskosten und Netzauslastung einbezieht, um die Maximallast zu senken. Elektrobussen sowohl im Regelbetrieb als auch bei Störungen stets ausreichend zu laden und die Lastgrenzen der Infrastruktur dabei einzuhalten, gelingt nur mit vollständig in den Workflow integrierter Software, deren genauere Eigenschaften dieser Artikel beleuchtet.

Well prepared for operation

This article describes how an integrated IT system can be used by the Duisburger Verkehrsgesellschaft AG to generate demand-based charging plans, control the charging infrastructure, and take preconditioning and load limits into account. It furthermore discusses how peak shaving efficiently distributes charging loads and incorporates factors such as power purchase costs and grid utilization to reduce maximum load. Keeping electric buses sufficiently charged and within the limits of the infrastructure, both in regular operation and during disruptions, can only be achieved with software that is fully integrated into the workflow. The detailed characteristics of which are discussed in this article.

ANZEIGE

KONVEKTA
The Innovation Company.

#ERFINDER

CO₂-Wärmepumpe für E-Busse
#Serienprodukt #Leise #Effizient

www.konvekta.com

value