



Abb. 1: E-Bus-Depot mit Photovoltaikanlage und Batteriespeicher.

Abb.: Depot mit Solar, KI-generiert

E-Bus-Depot: ganzheitliches Lade- und Energiemanagementsystem

Dr.-Ing. Kiraseya Preusser, Dipl.-Ing. Sven Jürgens

Mit der Einführung von Elektrobusen stehen Busbetriebe vor der Herausforderung, elektrische Energie aktiv zu steuern und gleichzeitig die gewohnte Effizienz und Zuverlässigkeit im Betrieb sicherzustellen.

Depotmanagementsysteme (DMS) sind primär für die Planung und Zuteilung von Fahrzeugen auf Umläufe ausgelegt, nicht jedoch für die Steuerung von Ladeprozessen. Deshalb wurden Lademanagementsysteme (LMS) in der Domäne ÖPNV eingeführt. Im Zusammenspiel mit dem DMS und der dafür geschaffenen VDV 463 übernimmt das LMS zwei wesentliche Funktionen: Es nimmt die Ladeanforderungen des DMS entgegen und erstellt sowie steuert daraus resultierende Ladepläne.

Unabhängig von den Anforderungen des Busbetriebs gibt es am Markt etablierte Energiemanagementsysteme (EMS), wie

beispielsweise EnEffCo®, die außerhalb des ÖPNV weit verbreitet sind und deren Funktionsspektrum stetig weiterentwickelt wird. Nachfolgend werden LMS und EMS mit ihren jeweiligen Aufgaben vorgestellt und aufgezeigt, wie ihr Zusammenspiel einen Mehrwert für Verkehrsunternehmen schafft.

Operative Ladeplanung im Depot: Rolle des LMS

Das Hauptziel eines LMS besteht darin, Fahrzeuge ausreichend zu laden. Hierzu muss es wissen, wie viel Energie ein Fahrzeug zur Abfahrt benötigt, um den geplanten nächsten Umlauf oder die Umlaufkette sicher fahren zu können. Bis zur Abfahrt kann das LMS den Ladeprozess flexibel optimieren. Dabei berücksichtigt es Lastspitzen im Depot, Sperrzeiten, Strompreise, Batterieschonung sowie alle weiteren Fahrzeuge, die parallel geladen werden

müssen – zusammengefasst als sogenanntes Smart Charging.

Neue Anforderungen wie strompreisoptimiertes Laden, das im LMS der IVU bereits umgesetzt ist, erhöhen die Komplexität der optimalen Ladeplanung. Der Hebel des LMS sind hierbei sogenannte Ladestufen. Eine Ladestufe definiert, mit welcher Ladeleistung einem Fahrzeug über einen bestimmten Zeitraum Energie bereitgestellt wird. Die Kombination aus Dauer, Leistungsniveau und zeitlicher Verteilung dieser Stufen bestimmt das gesamte Ladeverhalten im Depot.

Das LMS kann durch Lastgrenzen, zu wenige Ladesäulen oder zu viele gleichzeitig ladende Fahrzeuge eingeschränkt werden. Dazu kann im IVU-System das DMS beim LMS eine Ladegeschwindigkeitsprognose anfragen, um zu bewerten, welche Ladeziele unter den bekannten Einschränkungen

gen erreichbar sind. Wird beispielsweise in einer Stunde eine Lastgrenze im Depot aktiv, informiert das LMS das DMS über bestimmte Ladezielabweichungen. Diese Information nutzt das DMS, um die Disposition der Fahrzeuge auf bestimmten Umläufen zu optimieren.

Ganzheitliches Energiemanagement: Rolle des EMS

Das EMS implementiert die direkte Schnittstelle zu allen technischen Anlagen am Standort sowie zum Energieversorger. Damit legt es die Grundlage für ein standort- und depotübergreifendes Energiemonitoring und Reporting, erforderlich nach ISO 50001.

Konsistente Messdaten, transparente Energieflüsse und belastbare Kennzahlen unterstützen Nachweisführung, kontinuierliche Verbesserung und ein wirksames Energiemanagement im Betrieb.

Das EMS konsolidiert dafür standortweite Mess- und Plandaten, um belastbare Vorhersagen zu Last, Erzeugung und Flexibilität am Standort zu erzeugen und daraus Leistungsgrenzen und Steuersignale für einzelne Gruppen zu ermitteln. Damit ermöglicht das EMS die Umsetzung zentraler Optimierungsstrategien, wie die Reduktion von Netznutzungskosten, die Maximierung des Eigenverbrauchs aus Photovoltaikanlagen sowie die Nutzung dynamischer Stromtarife beim Laden der Busse. Auch komplexe Setups mit lokaler Stromerzeugung und -speicherung oder elektrifizierter Wärmeerzeugung können so integriert werden.

Zusammenspiel des LMS mit dem EMS

Im operativen Betrieb übernimmt das EMS die dynamische Anpassung von Lastgrenzen einzelner Gruppen anhand der tatsächlichen Gesamtsituation auf dem Depot. Durch dieses dynamische Spitzenlastmanagement wird sichergestellt, dass Netzrestriktionen sicher eingehalten werden, ohne den Betrieb einzuschränken. Durch die Weitergabe der Lastgrenzen an das LMS entsteht ein stufenweises Lastmanagement, welches die Erzeugung netzseitiger Lastspitzen wirksam vermeidet und damit Leistungspreise und Netznutzungskosten nachhaltig reduziert. Das EMS verantwortet zudem die Sensorik und Steuerung der Netzendpunkte.



Zur Autorin

Dr.-Ing. Kiraseya Preusser ist seit 2024 im Produktmanagement bei der IVU Traffic Technologies AG tätig. Ihre Fokusthemen sind Elektrofahrzeuge und deren Einflüsse in ÖPNV-Systemen. Davor hat sie an der RWTH Aachen in Elektrotechnik zu Themen der Modellierung und Optimierung von Kommunikationsnetzwerken und Elektrofahrzeugen promoviert.



Zum Autor

Dipl.-Ing. Sven Jürgens ist seit 2023 bei der IVU Traffic Technologies AG und verantwortlich für Depot- und Lademanagementsysteme. Er ist seit über 25 Jahren im öffentlichen Nahverkehr tätig, als Softwareentwickler sowie als Projektleiter, unter anderem im Bereich der Depotmanagementsysteme für die Stuttgarter Straßenbahnen AG und die Hamburger Hochbahn AG. Insgesamt war er neun Jahre verantwortlich als Bereichsleiter bei der PSI für die Entwicklung und Einführung von Depot- und Lademanagementsystemen.

Tritt beispielsweise eine Störung auf, wird diese unmittelbar an das LMS kommuniziert. Lastgrenzen und Informationen zur Ladeinfrastruktur sind, wie beschrieben, ein wichtiger Bestandteil des LMS, um die Randbedingungen des Ladens zu kennen.

ANZEIGE

**FACHMEDIEN FÜR
DIE GESAMTE ÖPNV-BRANCHE**



www.nana-online.de/fachartikel







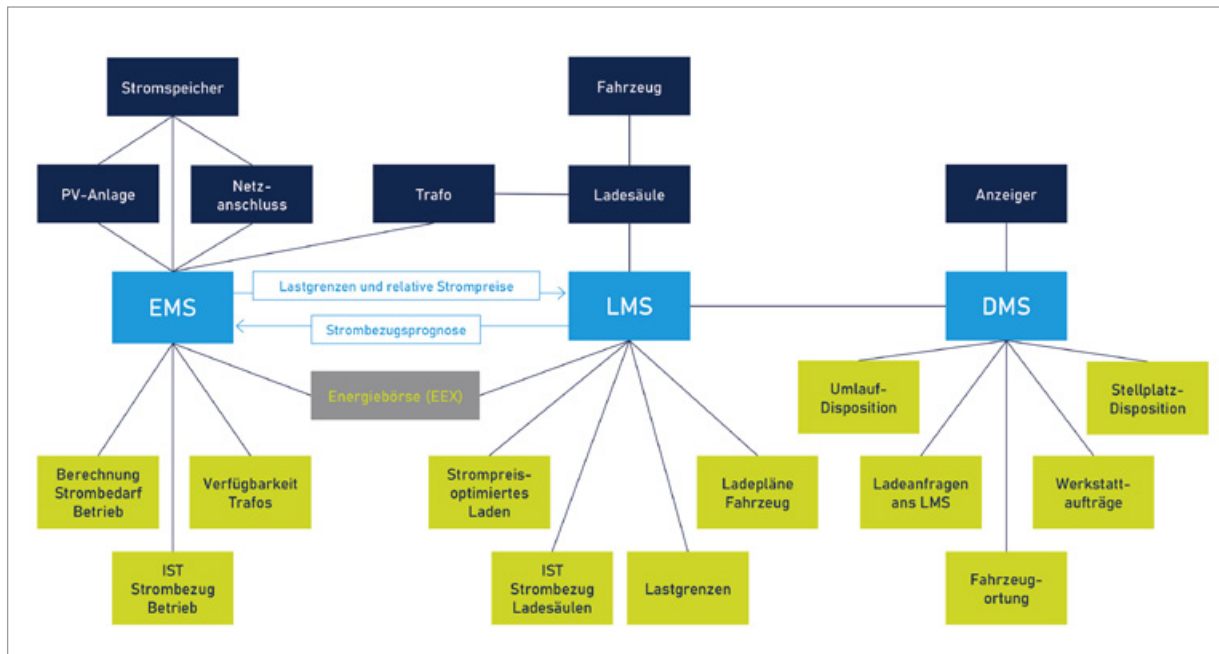



Abb. 2: Systemübersicht mit Kernaufgaben. Grafik: IVU Traffic Technologies AG

Das LMS ist nach Auftreten der Störung dafür verantwortlich, eine neue Lastgrenze und gegebenenfalls veränderte Ladeleistung der Ladepunkte einzuhalten.

Wenn es zukünftig darum geht, dass Solaranlagen (PV) und Stromspeicher berücksichtigt werden, liegt die Hoheit über Stromquellen und Lastgrenzen beim EMS, während das LMS weiterhin die Hoheit über das Laden der Fahrzeuge hat. Das LMS entscheidet, wann und in welchem Umfang geladen wird; das EMS entscheidet, welche Stromquelle zu welcher Zeit genutzt werden kann, ohne dass das LMS diese kennen muss. Das LMS benötigt Informationen über Leistungsbegrenzungen und einen Strompreis. Strompreise ergeben sich in diesem Setup nicht ausschließlich aus aktuellen Börsenpreisen, sondern auch durch vergangene Strompreise (Stromspeicher), andere Kosten (Solaranlagen) oder

Mischformen beider Quellen, etwa, wenn ein Speicher mit Solar- und Netzstrom geladen wurde. Daher erhält das LMS vom EMS einen relativen Strompreis, wobei die übliche Vorschauzeit 24 Stunden mit einem 15-minütigen Zeitraster beträgt. Dem LMS wird so fortlaufend ein Optimierungsrahmen auf Basis der Vorhersagen bereitgestellt, was eine intelligente Ladeplanung unter Berücksichtigung der betrieblichen Anforderungen und gleichzeitiger Energiekostenminimierung ermöglicht.

Fazit

Indem das LMS Aufgaben und damit die Komplexität der energiewirtschaftlichen Leistungssteuerung an ein EMS abgibt, kann es sich mehr auf die betrieblichen Anforderungen konzentrieren und näher an das DMS rücken. Eine zusätzliche Ausdifferenzierung um energiewirtschaftliche,

kostspielige Spezialfunktionen ist dadurch nicht erforderlich.

Weiterhin zeigen die Erfahrungen im Zusammenspiel von LMS und DMS im Rahmen der VDV 463 schon heute, dass die starke Entkoppelung beider Systeme bei gleichzeitig steigender Komplexität in der Umsetzung betrieblich nachteilig ist. Themen wie dynamische Strompreise, gleichzeitiges Laden mit mehreren Steckern und perspektivisch bidirektionales Laden lassen erahnen, wie komplex und teuer dies mit der VDV 463 umzusetzen ist.

Die bisherigen Realisierungen der IVU zeigen, dass eine klare Trennung der Verantwortlichkeiten zwischen LMS und EMS sowie einer entsprechend schlanken Schnittstelle die Betriebssicherheit, Wirtschaftlichkeit und letztendlich auch Erweiterbarkeit am besten unterstützt.

Zusammenfassung/Summary

E-Bus-Depot: ganzheitliches Lade- und Energiemanagement

Die enge Verzahnung von Lade- (LMS) und Energiemanagementsystem (EMS) ist ein zentraler Erfolgsfaktor für den zukunftssicheren Betrieb von E-Bus-Depots. Das LMS gewährleistet eine bedarfsgerechte, strompreisoptimierte Ladeplanung und Fahrzeugverfügbarkeit. Das EMS steuert standortweit Energieflüsse, Lastgrenzen sowie die Integration von PV-Anlagen und Speichern. Eine klare Trennung der Verantwortlichkeiten und eine schlanke Schnittstelle stärken Betriebssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Erweiterbarkeit.

E-bus depots: holistic charging and energy management

The close interlinking of the Charging- (CMS) and Energy Management System (EMS) is a central success factor for the future-proof operation of e-bus depots. CMS guarantees a demand-oriented, electricity-price-oriented charging planning and vehicle availability. EMS controls site-wide energy-flows, load limits as well as the integration of PV-plants and storages. A clear separation of responsibilities and a slim interface strengthen operation security, economic efficiency and expandability.