

HEIKO BAUER | JOHANNES KÄPPELER

# Betriebliche Herausforderungen der Elektromobilität meistern

Einleitung – Investitionsentscheidungen fundiert treffen – Anforderungen in der betrieblichen Planung – Zentrales Lademanagement – Überwachung und Steuerung der Elektrobusse im Fahrbetrieb – Stets den Fahrzeugzustand im Blick – Reichweitenprognose für eine optimale Steuerung des Betriebs

## 1. Einleitung

Die Einführung der Elektromobilität stellt Verkehrsunternehmen vor zahlreiche Herausforderungen. Denn auf dem Weg zum flächendeckenden Einsatz müssen die betrieblichen Prozesse und ihre unterstützenden Informationssysteme überdacht und angepasst werden. Planung, Betriebssteuerung und nicht zuletzt das Depotmanagement werden mit völlig neuen Herausforderungen konfrontiert. Für die betroffenen Verkehrsunternehmen bedeutet das nichts weniger als ein Paradigmenwechsel – ein Paradigmenwechsel, der von Anfang an gut geplant und bedacht sein will.

Bei INIT wurde in den letzten Monaten intensiv daran gearbeitet, die Anforderungen der Elektromobilität in die betrieblichen Kerninformationssysteme zu integrieren und zusätzliche Applikationen zu entwickeln. Dass INITs Hard- und Software die gesamte Bandbreite der Prozesse in einem Verkehrsunternehmen abdeckt, erweist sich in diesem Zusammenhang als Vorteil: So können in einem integrierten System auch sämtliche Aufgabenstellungen der E-Mobilität abgedeckt werden. Und diese beginnen nicht erst mit dem tatsächlichen Einsatz der neuen E-Busse, sondern bereits vor ihrer Anschaffung.

## 2. Investitionsentscheidungen fundiert treffen

Das Simulations- und Planungssystem eMOBILE-PLAN erlaubt die Erstellung und Analyse von verschiedenen Szenarien für den Einsatz von Elektrobusen und ermöglicht so, frühzeitig betriebswirtschaftliche Risiken zu minimieren sowie adäquate Maßnahmen zu ergreifen. eMOBILE-PLAN unterstützt bei der Wahl der richtigen Ladestrategie sowie des optimalen Ladekonzeptes. Die verschiedenen Strategien und Konzepte können anhand von Szenarien erstellt, analysiert und verglichen werden. Neben der Ermittlung der besten Ladestrategie – Depot-, Netzladen oder eine Mischform aus beidem – lässt sich auch die Anzahl der benötigten Ladestellen ermitteln. Damit können Investitionskosten für die Ladeinfrastruktur bereits im Vorfeld für eine dynamisch wachsende Elektrobusflotte ermittelt werden.

Ungeachtet der Ladestrategie lässt sich dabei festhalten, dass die Reichweite von Elektrobusen deutlich geringer ist als die von Dieselnissen. Kürzere Umläufe

lassen sich vor allem in den Morgen- und Nachmittagspitzen finden, auf welchen der Elektrobus zum Einsatz kommen kann. Diese sind in der Regel kurz genug, sodass hier kein Reichweitenproblem entsteht. Unter wirtschaftlichen Aspekten ist es jedoch nicht ausreichend, Elektrobusse nur auf kurzen Umläufen einzusetzen. Sie müssen so viel wie möglich fahren, um ihren Break-even-Point zu erreichen und eine wirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten. Das bedeutet, dass der Elektrobus entweder auf zusätzlichen oder auf längeren Umläufen zum Einsatz kommen muss.

Spätestens wenn Elektrobusse auf Umläufen zum Einsatz kommen sollen, die länger sind als die Reichweite des Elektrobusse, kann dies eine Fahrzeugmehrung nach sich ziehen, da die Fahrzeuge innerhalb eines Umlaufs geladen werden müssen. Eine Fahrzeugmehrung hat dann auch eine Personalmehrung zur Folge. Die genauen Auswirkungen und Entwicklungen des zukünftig zu erwartenden Fahrzeug- und Personalbedarfs können mit eMOBILE-PLAN im Kontext eines spezifischen Verkehrsunternehmens betrachtet und analysiert werden.

In diesem Zusammenhang kann auch der in Zukunft zu erwartende Strombedarf ermittelt werden. Da die Verbrauchs- und Lademengen der Elektrobusflotte ermittelt werden, können diese als Grundlage zur Klärung von technischen und baulichen Fragen mit dem Energieversorger verwendet werden, wie z. B. die Dimensionierung von Netzanschlüssen. Darüber hinaus liefern diese Berechnungen auch erste Zahlen für die in Zukunft zu erwartenden Stromkosten.

Mit eMOBILE-PLAN lassen sich demnach die Fragestellungen zur Fahrzeug- und Personalmehrung, zu den zu erwartenden Betriebskosten sowie zur Höhe der Investitionskosten für Ladeinfrastruktur beantworten. All dies wird unter Berücksichtigung einer sich entwickelnden Elektrobusflotte sowie vor dem Hintergrund verschiedener Ladestrategien- und Konzepten betrachtet. Bereits bei der Simulation von Szenarien können verschiedene Temperaturbereiche und die davon abhängigen unterschiedlichen Verbräuche für Heizen und Klimatisieren berücksichtigt werden. Auch diese benötigen Energie und müssen deshalb in die Berechnung der erforderlichen Lademenge einfließen. Eine zentrale Rolle spielt die Temperatur allerdings auch in der betrieblichen Planung.

**Heiko Bauer,**  
Geschäftsführer  
CarMedialab GmbH  
und Leiter der  
INIT-Fokusgruppe  
Elektromobilität,

**Johannes Käppeler,**  
Key Account  
Manager, initplan  
GmbH, Karlsruhe

### 3. Anforderungen in der betrieblichen Planung

Auch im späteren Betrieb der Elektrobuse müssen sich die Verkehrsunternehmen auf neue Bedingungen und Herausforderungen einstellen. Denn die Reichweite von Elektrobussen ist im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen nicht nur kürzer, sondern auch sehr viel volatiler. Sie hängt von einer Vielzahl von Faktoren wie der Größe der Batterie, der Temperatur, der Anzahl von Starts und Stops, dem Fahrverhalten sowie der Topologie des Streckenverlaufs ab. Die größte Herausforderung stellt dabei die Außen-temperatur dar.

Können Faktoren wie die Größe der Batterie, die Anzahl der Starts und Stops oder der Streckenverlauf als konstant angenommen werden, so verändert sich die Temperatur nicht nur in den jeweiligen Jahreszeiten, sondern auch über den Tag hinweg. Da die Verbräuche für Heizen und Klimatisieren des Buses bis zu 50% des Energiebedarfs ausmachen können, muss der Temperatur eine zentrale Rolle zugeschrieben werden, wenn es darum geht, die Wirtschaftlichkeit und Stabilität der Umlauf- und Dienstpläne zu gewährleisten. Dazu werden für jede Jahreszeit sowie für Extremsituationen verschiedene Umlauf- und Dienstpläne erstellt, in welchen der jeweilige Verbrauch für Heizen und Klimatisieren Berücksichtigung findet. Dadurch kann ein wirtschaftlicher und stabiler Einsatz von Elektrobussen sichergestellt werden. Das Verwenden von verschiedenen Umlauf- und Dienstplänen für verschiedene Jahreszeiten und Temperaturbereiche erfordert jedoch eine höhere Flexibilität des Fahrpersonals sowie die Zustimmung des Betriebsrates. Die Berücksichtigung der Temperatur bedeutet deshalb nicht nur, dass die Planung durch den Einsatz von Elektrobussen noch zusätzlich erschwert wird. Sie erfordert auch eine verstärkte interne Kommunikation der einzelnen Bereiche und Abteilungen.

Mit der Möglichkeit verschiedenster Simulationen von Szenarien liefert eMOBILE-PLAN dabei nicht nur eine Entscheidungs- und Kommunikationsgrundlage, sondern unterstützt auch bei der täglichen betrieblichen Planung

von Elektrobussen. Dabei kann eMOBILE-PLAN nicht nur als Teil der integrierten INIT-Lösung zur Elektromobilität, sondern auch stand alone zum Einsatz kommen.

### 4. Zentrales Lademanagement

Ob Laden im Depot oder auf der Strecke: Je mehr Elektrobusse in Betrieb genommen werden, desto höher wird der Koordinationsbedarf der Ladevorgänge. Viele der gängigen Ladekonzepte sehen den Ladevorgang auf dem Betriebshof vor. Typischerweise als Übernachtladung, ggf. aber auch tagsüber als Zwischenladung außerhalb der Hauptlastzeiten. Denn durch das ausschließliche Laden im Depot reduzieren sich die Investitionskosten in die Infrastruktur. Die Herausforderung besteht dann jedoch darin, in einem relativ kurzen Zeitfenster viel Energie zur Verfügung zu stellen.

Neben technischen und betrieblichen Anforderungen gilt es auch, wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen, um ein effizientes Laden der gesamten Flotte zu ermöglichen. Dazu müssen wesentliche Bedingungen erfüllt werden:

- Die Busse müssen für ihren Einsatz pünktlich und vor-konditioniert wieder zur Verfügung stehen.
- Die Anschlussleistung muss für den Ladevorgang der gesamten Flotte ausreichen.
- Für alle Fahrzeuge müssen Anschlüsse zur Verfügung stehen, damit der Vorgang parallel und zentral gesteuert werden kann.
- Die Gesamlast im Netz muss balanciert werden, um Lastspitzen aus Kostengründen zu vermeiden (Peak-Shaving).
- Die Ladung muss möglichst batterieschonend erfolgen. Darüber hinaus muss beachtet werden, dass im Depot noch weitere Arbeiten an den Fahrzeugen auszuführen sind, wodurch der Bus nicht während seiner gesamten Aufenthaltsdauer für Ladevorgänge zur Verfügung steht. Außerdem ist die Dauer der Ladevorgänge nicht nur durch die maximale Anschlussleistung determiniert, sondern bspw. auch abhängig vom individuellen Fahrzeug und der Umgebungstemperatur.

Um den Herausforderungen der Elektromobilität in Bezug auf parallele, gesteuerte und automatisierte Ladevorgänge im Depot gerecht zu werden, wird ein zentrales Lademanagementsystem benötigt, das Fahrzeuge, Ladepunkte, Energieversorgung und betriebliche Informationssysteme in geeigneter Weise verknüpft. Genau das leistet MOBILEcharge, INITs neue Anwendung für intelligentes Lademanagement. Sie errechnet für die gesamte Flotte einen optimierten Ladeablauf, überwacht die Ladevorgänge und startet sie bei einem unvorhergesehenen Abbruch neu, liefert Energiebedarfsprognosen und Reportings und ist in die Anwendungslandschaft zwischen Intermodal Transport Control System (ITCS), Depotmanagementsystem (DMS) und Ladeinfrastruktur eingebettet (Bild 1).

Vom Depotmanagement oder dem ITCS erhält das Lademanagement die Information über den aktuellen Ladezustand eines Fahrzeugs sowie die Informationen darüber, wann es am nächsten Tag in welchem Ladezustand zur Ausfahrt zur Verfügung stehen muss. Auf Basis des von MOBILEcharge ermittelten Ladeplans weist MOBILE-DMS



Bild 1: Je mehr Elektrobuse in Betrieb genommen werden, desto höher wird der Koordinationsbedarf der Ladevorgänge

die Ladesäulen zu. Ergibt sich aus der Interaktion mit dem Lademanagement, dass nicht alle Umläufe bedient werden können, passt MOBILE-DMS die Umläufe an und generiert gegebenenfalls zusätzliche Umläufe und Dienste für den nächsten Betriebstag, die in der Folge auch an das Intermodal Transport Control System übermittelt werden.

### 5. Überwachung und Steuerung der Elektrobusse im Fahrbetrieb

Als zentrales Informationssystem spielt hier das Intermodal Transport System (ITCS) eine herausragende Rolle. Hier muss die Überwachung der Ladezustände erfolgen, die aufgrund der hohen Volatilität bei elektrischen Antrieben im Vergleich zu Verbrennungsmotoren dringend geboten ist. In Verbindung mit der deutlich geringeren Gesamtreichweite von Elektrofahrzeugen steigt das Risiko, liegen zu bleiben. Mittels einer neuen Funktion in MOBILE-ITCS behält der Disponent jederzeit den Überblick über den aktuellen Ladezustand (State of Charge) der aktuell im Einsatz befindlichen Elektrobusse. Konfigurierbar ist die Anzeige von Informationen zur Elektromobilität in den gängigen Darstellungen und Tabellen: Umlaufdarstellung, Liniendarstellung, Fahrzeugliste und Stadtplan. Durch eine Statusbildnachricht erfolgen Warnungen zu Fahrzeugen, wenn die verbleibende Reichweite grenzwertig und ungenügend ist, wie es bei größeren Verspätungen oder Umleitungen vorkommen kann.

In der Fahrzeugliste werden die folgenden Informationen angezeigt:

1. Die verbleibende Restreichweite
2. Der aktuelle Ladezustand in Prozent
3. Der aktuelle Ladezustand in Kilowattstunden
4. Der Zeitstempel

Die Umlaufdarstellung visualisiert eine Prognose für das Erreichen des Umlaufziels: grün für gesichert, gelb für grenzwertig und rot für ungenügend.

In einer späteren Ausbaustufe wird das System bei einer Maßnahmenausführung (z. B. Verstärkerfahrt) zusätzlich prüfen, ob der Ladezustand des Fahrzeugs für die zu fahrende Distanz ausreicht.

### 6. Stets den Fahrzeugzustand im Blick

Besonderes Augenmerk bei Elektrofahrzeugen sollte nicht nur dem Ladezustand, sondern auch dem generellen Zustand des Fahrzeugs gelten, zumal noch keine Erfahrungswerte mit E-Bussen im Linienbetrieb vorliegen. Das Vehicle-Health-Monitoring-System MOBILEvhm aus der Softwaresuite MOBILE-ECO<sup>2</sup> bietet ein umfassendes Fahrzeug-Monitoring im laufenden Betrieb, erkennt Fehlermeldungen und unterstützt bei der Planung von Reparaturen am Fahrzeug. Ergänzt wird MOBILE-ECO<sup>2</sup> durch MOBILEefficiency, das Assistenzsystem für sicheres und energieeffizientes Fahren: Die Applikation erfasst reale Energieverbräuche und Fahrsituationen in Verbindung mit Einflussfaktoren wie Fahrzeug, Fahrer, Topologie, Streckeneinsatz bis hin zu Wetterbedingungen und erstellt daraus automatisch Berichte. Insofern liefert MOBILEefficiency nicht nur wichtige Analyse- und Erfahrungswerte über Energiebedarfe, sondern verhilft auch zu einer energieeffizienteren Fahrweise.

### Elektromobilität in der INIT-Produktpalette



Bild 2: INIT-Produktpalette

### 7. Reichweitenprognose für eine optimale Steuerung des Betriebs

Reichweitenbeschränkung und -schwankungsanfälligkeit werden als neuralgische Punkte der Elektromobilität angesehen. Daher ist es nicht nur wichtig, den aktuellen Ladezustand auf der Strecke zu überwachen, sondern auch eine möglichst verlässliche Reichweite zu berechnen. MOBIERange, die Applikation für Reichweitenprognose auf Basis betrieblicher Daten, verwendet historische Betriebsdaten aus dem Auswertungssystem MOBILEefficiency und erzeugt unter Einsatz modernster Verfahren des maschinellen Lernens ein Modell für den Batterieverbrauch der einzelnen Fahrzeuge, bezogen auf einzelne Streckenabschnitte. MOBIERange arbeitet als zentraler Dienst für andere Applikationen, die Reichweiteninformationen benötigen: in der Planung, Disposition und Steuerung. Unter anderem kalkuliert es für das Intermodal Transport Control System MOBILE-ITCS unter Berücksichtigung des aktuellen Ladezustandes die tatsächliche Restreichweite eines Fahrzeugs. Damit lässt sich der Einsatz von Elektrofahrzeugen im ÖPNV besser planen und im laufenden Betrieb optimal steuern.

Der Paradigmenwechsel im ÖPNV hin zur Elektromobilität kann unter Einbeziehung der betrieblichen Informationssysteme gelingen. Genau das gewährleistet die Komplettlösung von INIT: Mit einer Vielzahl an Modulen deckt INIT alle zu steuernden betrieblichen Prozesse, die sich durch die Einführung der Elektromobilität ergeben oder verändern, in einzigartiger Komplexität ab (Bild 2). Während der Markt häufig nur Lösungen für Teilaspekte bietet, die weit weniger in die Tiefe gehen, stellt INIT eine integrierte Gesamtlösung bereit, die alle Aspekte der Elektromobilität abbildet. So gelingt es Verkehrsunternehmen, den Einführungsprozess erfolgreich zu gestalten und später ihre E-Bus-Flotte effizient zu betreiben. ■