

Leitthema: Elektromobilität –
Zukunft des Verkehrs?

Ladeinfrastruktur

Minimale Belastung elektrischer Netze durch Ladevorgänge von Elektrobussen:

Das Forschungsprojekt MENDEL

Optimierung von Ladeinfrastruktur,
Ladevorgängen und Fahrverhalten

Sebastian Kriegler,
INIT, Karlsruhe

Vor dem Hintergrund der ambitionierten Klimaziele der EU wird der Verringerung von Emissionen im Verkehrssektor eine hohe Priorität eingeräumt. Der Einsatz von Elektrobussen im ÖPNV kann hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten, weshalb ihnen eine immer bedeutendere Rolle zukommt.

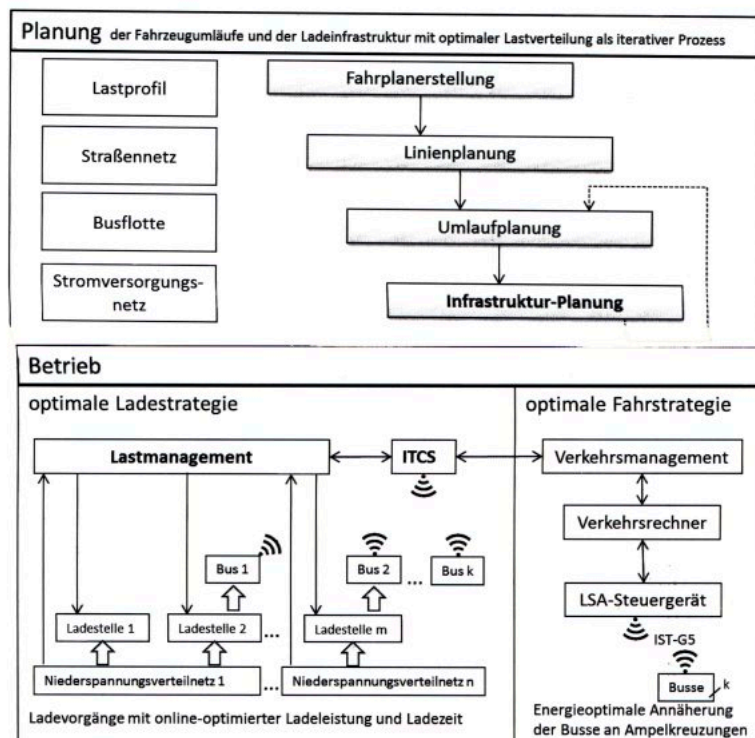
Gegenüber konventionellen Fahrzeugen bringen Elektrobusse per se enorme Einsparmöglichkeiten im Hinblick auf die Belastung der Umwelt mit. Umweltfreundlichkeit und Betriebskosten können durch eine angepasste Ladeinfrastruktur und sinnvolle Ladevorgänge jedoch noch weiter optimiert werden. Der Frage nach den bestmöglichen Strukturen widmet sich das Forschungsprojekt MENDEL.

Seit Beginn 2016 arbeitet INIT gemeinsam mit den Partnern AVT STOYE GmbH, dem Institut für Verkehrssystemtechnik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., dem Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, der GEVAS software Systementwicklung und Verkehrsinformatik GmbH, dem Institut für Automation und Kommunikation und den assoziierten Partnern Braunschweiger Netz GmbH und Braunschweiger Verkehrs-GmbH an MENDEL. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Projekt soll die Belange von Energieversorgern und Verkehrsunternehmen in Einklang bringen. Ziel ist es, die Grundlagen einer kosteneffizienten Ladeinfrastruktur zu ermitteln, welche die besonderen Anforderungen von Elektrobussen im ÖPNV berücksichtigt.

Anforderungen der Planung und des laufenden Betriebs

Mit dem derzeitigen Stand der Technologie kann ein Elektrobus im Normalfall seine durchschnittliche Fahrleistung von 250 bis 300 km pro Tag nur bewältigen, wenn zwischen- und durch Zeit für Ladevorgänge eingeplant wird.

Erfolgt das Laden an einem ungünstigen Ort oder zu einem ungünstigen Zeitpunkt – beispielsweise durch gleichzeitiges Laden einer hohen Anzahl von Bussen – kann dies das Netz stark belasten und zu hohen Spitzenlasten führen. Durch die Preisgestaltung der Netzbetreiber kann dies zu einem höheren Preis pro Kilowattstunde führen. Aus diesem Grund stellt das





Die im Rahmen von MENDEL entwickelten Schnittstellen und Systeme werden mit den Energienetz- und Verkehrsbetrieben der Stadt Braunschweig intensiv feldgetestet. (Bild: Braunschweiger Verkehrs-GmbH).

gleichzeitige nächtliche Laden einer Elektrobusflotte im Depot nach wie vor ein Problem für Verkehrsunternehmen dar.

Deshalb ist eine Optimierung der Ladevorgänge nicht nur in Bezug auf eine möglichst geringe Beeinträchtigung des Fahrbetriebs sinnvoll, sondern auch hinsichtlich einer möglichst ausgeglichenen Belastung des Netzes und der Vermeidung von Spitzenlasten. Dies kann auf der strategischen Ebene über die Optimierung der Infrastruktur und der Fahrzeugeinsatzplanung und auf der taktischen Ebene über die Steuerung von Ladevorgängen im Betrieb geschehen.

Auch die operative Ebene darf nicht außer Acht gelassen werden. Hier geht es in MENDEL zum einen um die Festlegung einer optimalen Fahrstrategie, die energieaufwendige Halte- und Anfahrvorgänge wenn möglich vermeidet. Zum anderen gilt es, die Dauer von Ladevorgängen zu steuern und dabei die Grünphasen von Lichtsteuerungsanlagen, die auf der Strecke eines Fahrzeugs liegen, zu berücksichtigen.

Um die Investitions- und Betriebskosten auf strategischer Ebene zu minimieren, ist eine gemeinsame, aufeinander abgestimmte Optimierung des Fahrzeugeinsatzes und der geographischen Verteilung der Ladeinfrastruktur des Stromnetzbetreibers erforderlich. Die Ladestellen sollen so platziert werden, dass die zeitlichen und energetischen Puffer, die miteingeplant werden müssen, so gering wie möglich gehalten werden können. Für die Lage der Ladestationen werden also neben den Fahrzeugeinsatzplänen auch die Lage, Auslastung und Leistungsfähigkeit der vorhandenen Mittel- und Niederspannungsverteilnetze miteinbezogen. Die Fahr- und Dienstpläne werden wiederum so erstellt, dass der aggregierte Leistungsbedarf der Busflotte zu jedem Zeitpunkt so gering wie möglich ist und somit teure Lastspitzen vermieden werden.

Im laufenden Betrieb sorgt das Zusammenspiel von intelligenten Stromnetzen („Smart Grid“) und intelligenten Verkehrssystemen („Intelligent Transportation System“ kurz ITS) dafür, dass Lastspitzen durch Ladevorgänge vermieden werden. Dienste für das Smart Grid berechnen optimale Zeiten für Ladevorgänge, die dann an das ITS übermittelt werden. Somit besteht die Möglichkeit, Fahrzeugen optimierte Fahrvorgaben zu erteilen (beispielsweise die Aufforderung, einen Ladevorgang zu verlängern oder zu verkürzen) oder auf einen Ladevorgang, der nicht unbedingt nötig ist, zu verzichten.

Miteinzukalkulieren sind Schwankungen des Energiebedarfs der Fahrzeuge, die zum Beispiel durch überdurchschnittlich hohe oder niedrige Temperaturen, Fahrgastbelegung, Verspätungen oder ähnliche Faktoren ausgelöst werden können. Um diese auszugleichen, werden bei der Planung und im Betrieb ausreichend Puffer eingeplant und eingehalten. Außerdem gilt es, bestimmte Grenzwerte festzulegen, die nicht über- bzw. unterschritten werden dürfen. Somit ist gewährleistet, dass der normale Fahrbetrieb unter keinen Umständen beeinträchtigt wird.

Um den Energiebedarf der Fahrzeuge im Betrieb zu verringern, werden schlussendlich noch Lösungen für die operative Ebene implementiert. Um die Fahrzeugbewegung zu optimieren, bietet sich insbesondere der innerstädtische Verkehr mit seinen häufigen Halte- und Anfahrvorgängen an. Der Ansatz, den das Projekt MENDEL verfolgt, besteht darin, die Steuerung der Lichtsignalanlagen mit einer Fahrerassistenzfunktion zu verknüpfen.

Die Besonderheit (im Vergleich zu vorhergehenden Projekten) hierbei ist, dass die Kommunikation bidirektional zwischen Fahrzeugen, Leitstelle und Straßenverkehrs-

Leitthema: Elektromobilität –
Zukunft des Verkehrs?

Ladeinfrastruktur

infrastruktur erfolgt. Dies hat den positiven Effekt, dass für jedes Fahrzeug eine Optimierung der Fahrstrategie möglich ist. Diese berücksichtigt nicht nur die Rot-/Grünphasen der Lichtsteuerungsanlagen, sondern auch andere Faktoren wie beispielsweise die notwendigen Ladezeiten der Busse, die Anzahl der Fahrgäste oder die Verspätungslage.

Systemarchitektur und entwickelte Lösungen

Für die Optimierung der Ladeinfrastruktur und der Fahrzeug-einsatzplanung werden im Zuge des Projekts noch eine Reihe von Schnittstellen, Diensten und Systemen implementiert. Geschaffen werden intelligente Dienste für das Smart Grid, die die gesamte Ladeleistung des Mittelspannungsnetzes unter Einbeziehung (a) des Betriebszustands des Mittelspannungsnetzes, (b) des Ladezustands und des Energiebedarfs aller Busse sowie (c) des prognostizierten Leistungsangebotes pro Ladestelle regeln.

Diese Dienste kommunizieren die Informationen aus dem Stromnetz dann an einen Verbund aus ITS-Systemen. Dieser besteht aus drei Komponenten: der Leittechnik des öffentlichen Personennahverkehrs, dem ITCS (Intermodal Transport Control System), das über die Fahrplan- und Positionsdaten der Fahrzeuge verfügt, dem System zur Steuerung der Lichtsignalanlagen sowie dem in MENDEL entwickelten „Smart Traffic Center“. Letzteres berechnet die optimierten Schaltzeiten der Lichtsteuerungsanlagen sowie die Fahr- und Ladempfehlungen für die Fahrzeuge und übermittelt den Fahrern entsprechende Anweisungen.

In ländlichen Bereichen verfügen die Leitstellen vieler Verkehrsbetriebe allerdings nicht über die nötigen technischen Systeme für eine vollumfängliche Steuerung der Ladevorgänge. Dennoch werden auch hier zunehmend Lichtsteuerungsanlagen über Mobilfunk angeschlossen und können somit zentral gesteuert werden. Um auch für diesen Anwendungsfall eine Priorisierung von Bussen durch Lichtsignalanlagen zu ermöglichen und dem Fahrer eine Assistenzfunktion zum energiesparenden Fahren zur Verfügung zu stellen, werden ein Backend-System und eine App, die im Bus mitgeführt werden kann, entwickelt.

Übertragbare Ergebnisse

Die entwickelten Schnittstellen und Systeme für das Smart Grid und das ITS werden durch Simulationen sowie im Feld intensiv getestet und auf ihre Tauglichkeit für den Einsatz auf dem Markt überprüft. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit den Energienetz- und Verkehrsbetrieben der Stadt Braunschweig, wo bereits das Elektromobilitätsprojekt „emil“ durchgeführt wurde. Daher

stehen hier bereits Teststrecken und weitere Infrastruktur zur Verfügung, die das Projekt MENDEL nutzen kann. Die im Projekt geschaffenen Lösungen basieren auf herstellerunabhängigen Standards (OCIT-Standards für Straßenverkehrstechnik, VDV-Standards für den Öffentlichen Nahverkehr) und Richtlinien (zum Beispiel VDE und RiLSA). Die erzielten Ergebnisse sollen wiederum in die Weiterentwicklung dieser Standards einfließen. Dies führt dazu, dass die im Projekt MENDEL ermittelten Lösungsansätze auf andere Städte und Gegebenheiten übertragbar sind.

Durch die integrierte Betrachtung zweier Domänen – intelligente Stromnetze und intelligente Verkehrssysteme – die bisher nur getrennt behandelt wurden, identifiziert und nutzt das Projekt MENDEL bisher vernachlässigte Potenziale zur Umweltschonung und zur Einsparung von Kosten. Auf diese Art leistet es einen wichtigen Beitrag dazu, den Einsatz von Elektrobussen für ÖPNV-Verkehrsunternehmen wirtschaftlicher und attraktiver zu gestalten und deren weitere Verbreitung zu ermöglichen.

[e-mail: skriegler@init-ka.de](mailto:skriegler@init-ka.de)