

Kurzfassung

Die Arbeit schätzt die Einsatzmöglichkeiten von Batterieoberleitungsbussen im urbanen ÖPNV ab und soll die Entscheidungsfindung bei der Wahl einer neuen emissionsfreien Antriebstechnologie unterstützen. Dazu wurde ein QGIS-Plugin erstellt, welches auf Basis frei verfügbarer Daten ein möglichst optimiertes Oberleitungsnetz für Batterieoberleitungsbusse automatisiert erstellt und universell für alle ÖPNV-Netze in Deutschland einsetzbar ist.

Aufgrund der EU-Vorgaben für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors schreibt seit 2021 in Deutschland das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz Mindestquoten an sauberen und emissionsfreien Fahrzeugen bei der Beschaffung von Bussen im Rahmen von öffentlichen Auftragsvergaben vor.

Eine Bestandsaufnahme und Bewertung der verschiedenen emissionsfreien Technologien im Busbereich wurde vorgenommen und für den Batterieoberleitungsbus vertieft. Dieser kann während der Fahrt an Oberleitungen laden, benötigt dadurch keine gesonderte Ladezeit und kann im Regelbetrieb auch 15 km ohne Oberleitung fahren. Dadurch können mit einem auf Kernbereiche gebündeltem Oberleitungsnetz viele Linien elektrifiziert werden, welche dann nicht über die gesamte Strecke Oberleitungen benötigen. Um zusätzlich Wissen und Erfahrungen aus der Praxis in die Arbeit einfließen zu lassen, wurden Experteninterviews mit den Solinger Stadtwerken und WSW mobil geführt, welche wertvolle Einblicke in den Betrieb mit Batterieoberleitungsbussen und Wasserstoffbussen ermöglicht haben.

Bei der Erstellung des Plugins wurde zunächst eine Datengrundlage für den später folgenden Algorithmus geschaffen. Durch Fahrplandaten, ein Routing am Straßennetz und eine anschließende Neigungsberechnung konnten Stationspaare mit Fahrtenanzahlen aller Linien erstellt und mit Höhendaten angereichert werden. Der Algorithmus berechnet dann aus diesen Daten Ränge für die Merkmale Fahrtenanzahl und Neigung und führt abschließend die Berechnung des Netzes mit veränderbaren Parametern durch.

Für Wuppertal wurden 32 Linien für die Auswertung berücksichtigt, welche einen Takt dichter als einen Stundentakt haben. Für dieses Netz müssten, bei einem elektrischen Mindestanteil von 50 % Oberleitung pro Linie, 267,78 km Oberleitung gebaut werden. Durch eine Optimierung des Netzes, unter Vernachlässigung der Mindestlänge eines Einspeisebereichs, kann die Oberleitungslänge auf 213,16 km reduziert werden. Selbst die Länge des optimierten Netzes würde, bei einem Preis von 1,8 Mio. € pro Kilometer Oberleitung, zu Gesamtkosten in Höhe von 383 Mio. € führen.

Obwohl der Oberleitungsbus in vielen europäischen Städten schon lange im ÖPNV etabliert ist, kann ein neu zu bauendes Netz wirtschaftlich bei den berechneten Investitionskosten nicht mit reinen Elektrobussen konkurrieren. Die Batterietechnik hat sich in den letzten Jahren stark weiterentwickelt, sodass der Elektrobus mit der Möglichkeit zur Zwischenladung sich als Industriestandard etabliert hat. Eine Ausstattung aller 48 Wuppertaler Linien mit Technik zur Gelegenheitsladung wäre mit überschlagenen Investitionskosten von 55,1 Mio. € etwa um den Faktor 10 günstiger. Daher wird für Wuppertal ein Einsatz von Gelegenheitsladern empfohlen, da sich Batterieoberleitungsbusse ohne ein bereits bestehendes Netz nicht wirtschaftlich betreiben lassen.

Abstract

The study assesses the potential applications of hybrid trolleybuses in urban public transport and aims to support decision-making when choosing a new emission free drive technology. To this end, a QGIS plugin was created which, based on freely available data, automatically generates an optimized overhead line network for hybrid trolleybuses and can be used universally for all public transport networks in Germany.

Due to EU requirements for the decarbonisation of the transport sector, the “Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz” has stipulated minimum quotas for clean and emission-free vehicles in the procurement of buses in the context of public procurement in Germany since 2021.

An inventory and evaluation of the various zero-emission technologies in the bus sector was carried out and expanded upon for hybrid trolleybuses. With in-motion charging (IMC) hybrid trolleybuses can charge while driving on overhead lines, thus requiring no separate charging time, and can also travel battery-powered for 15 km without overhead lines in regular operation. This means that with an overhead line network concentrated in core areas, many lines can be electrified without requiring overhead lines along the entire route. In order to incorporate additional knowledge and practical experience into the work, expert interviews were conducted with Solingen's public utility company and WSW mobil, which provided valuable insights into the operation of hybrid trolleybuses and hydrogen buses.

When creating the plugin, a database was first created for the algorithm that would follow later. Using timetable data, routing on the road network and a subsequent gradient calculation, station pairs with trip counts for all lines were created and enriched with elevation data. The algorithm then uses this data to calculate rankings for the characteristics of number of trips and gradient and finally calculates the network with variable parameters.

For Wuppertal, 32 lines with a frequency of less than one hour were included in the evaluation. For this network, 267.78 km of overhead lines would have to be built with a minimum electric share of 50% per line. By optimising the network, disregarding the minimum supply area length, the overhead line length can be reduced to 213.16 km. Even the length of the optimised network would result in total costs of €383 million at a price of €1.8 million per kilometre of overhead line.

Although trolleybuses have long been established in public transport in many European cities, a new network cannot compete economically with pure electric buses given the calculated investment costs. Battery technology has advanced significantly in recent years, with electric buses with opportunity charging capabilities becoming the industry standard. Equipping all 48 Wuppertal lines with technology for opportunity charging would be around ten times cheaper, with estimated investment costs of €55.1 million. The use of opportunity chargers is therefore recommended for Wuppertal, as hybrid trolleybuses cannot be operated economically without an existing network of overhead lines.