



Iterative Umlaufplanung und Infrastrukturplanung von Elektrobussen

(1) Abhängigkeitsproblem

Batterieelektrische Bussen bewältigen die geforderte tägliche Fahrleistung von ca. 250 km ihres Umlaufs nicht ohne ein zwischenzeitliches Nachladen der Batterie.

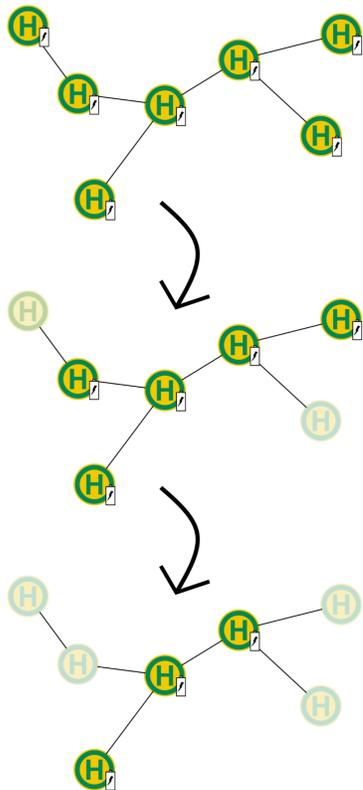
Das Ergebnis der Umlaufplanung hängt stark von der verfügbaren Ladeinfrastruktur ab. Umgekehrt wiederum hängt das Ergebnis der Ladeinfrastrukturplanung stark von dem zugrundeliegenden Umlaufplan ab.

Je mehr Ladepunkte es gibt, desto weniger Busse werden benötigt. Je mehr Busse es gibt, desto weniger Ladepunkte werden benötigt. Je weniger Ladestellen es gibt, desto stärker neigen die Ladevorgänge dazu, an einem Netzanschlusspunkt Lastspitzen zu bilden.

Ziel dieses Teilprojektes:

Ermittlung eines kostenminimalen Gesamtsystems, das die Ladeinfrastruktur, die Busse und den Leistungspreis berücksichtigt

(3) Methoden



Zunächst werden alle Haltepunkte mit einer Ladeeinrichtung ausgestattet, und es wird ein Umlaufplan berechnet.

Für jede Ladeeinrichtung wird deren Kosten-Nutzen-Verhältnis ermittelt.

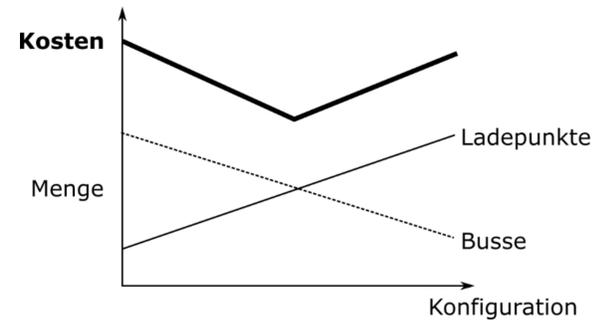
Ladeeinrichtungen mit einem Kosten-Nutzen-Verhältnis unterhalb einer bestimmten Schwelle werden entfernt.

Es wird ein neuer Umlaufplan berechnet. Die Ladeinfrastrukturplanung überprüft, ob es für den Umlaufplan eine günstigere Ladeinfrastruktur gibt. Wenn ja, wird mit dieser weitergearbeitet.

Das Verfahren wird solange wiederholt, bis die Gesamtkosten ein Minimum erreichen.

(5) Ergebnisse

Es ergibt sich schließlich eine Kurve, die die jeweilige Anzahl der Busse und Ladepunkte und die damit verbundenen Gesamtkosten darstellt:



Schematische Darstellung des Verhältnisses zwischen Ladepunkten, Bussen und den Kosten

Anhand einer solchen Darstellung lassen sich die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten von Bussen und Ladepunkten und letztlich auch die kostengünstigste Variante zum zugrundeliegenden Fahrplan ablesen.

(2) Fragestellungen

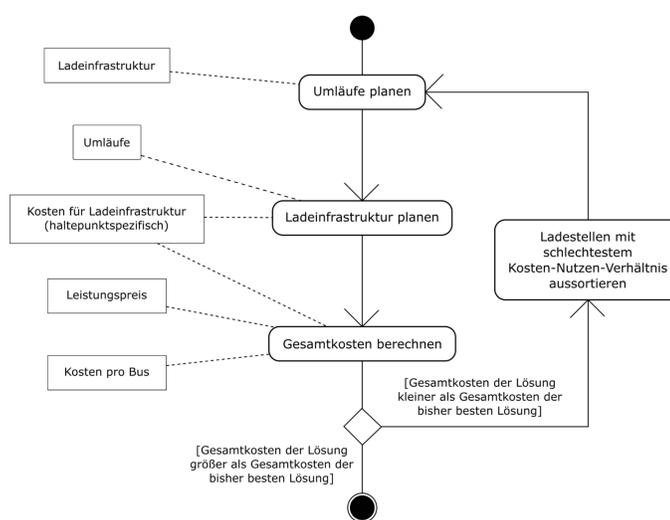
Gegeben sind der Fahrplan, die standortabhängigen Kosten für die Ladepunkte (CC), die maximale Ladeleistung, die Kosten für die Busse (CB) einschließlich der Wartungs- und Personalkosten sowie der Leistungspreis (CP). Bei den Ladepunkten wird von einer Lebensdauer von 20 Jahren, bei den Bussen von einer Lebensdauer von 12 Jahren ausgegangen. Damit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche existierenden Haltepunkte müssen mit Ladeeinrichtungen ausgestattet werden, so dass die Kosten für das Gesamtsystem bestehend aus den Ladepunkten, den Bussen und den Gebühren für die Leistungsbereitstellung (Leistungspreis) minimal sind?
- Welche Kosten entfallen jeweils auf die Ladepunkte, die Busse und den Leistungspreis?

Es wird die folgende Zielfunktion definiert:

$$\sum CB + CC + CP \rightarrow \min$$

(4) Implementierung



Algorithmus zur Berechnung des kostengünstigsten Gesamtsystems

Die Umlaufplanung („Umläufe planen“) und die Ladeinfrastrukturplanung („Ladeinfrastruktur planen“) werden iterativ so lange aufgerufen, bis die Gesamtkosten ein Minimum erreichen. Die standortabhängigen Kosten für die Ladepunkte (CC), die Kosten für die Busse (CB) und der Leistungspreis (CP) gehen in die jeweiligen Berechnungen ein.

(6) Ergebnisse und Ausblick

Zum Datenaustausch zwischen initPlan und Umlauf-/Ladeinfrastrukturplanung wurde das VDV452-Datenmodell um neue Attribute und Relationen erweitert:

MENGE_ENERGIESP_TYP: Definiert die verfügbaren Energiespeicher in den Fahrzeugen.

MENGE_LADEST_TYP: Definiert die verfügbaren Ladetechnologien.

REC_ORT und REC_HP: Enthält zusätzlich die Ladestellen. Verknüpft die Ladestellen mit den Anschlusspunkten zum Stromnetz.

REC_NETZANSCHL: Enthält die Anschlusspunkte zum Stromnetz.

REC_LADEV: Enthält alle Ladevorgänge mit Umlauf, Tagesart, Uhrzeit, Dauer und geladener Energiemenge.

Ausblick:

- Die Laufzeit des iterativen Planungsverfahrens ist sehr hoch, da vor allem die Umlaufplanung aber auch die Ladeinfrastrukturplanung selbst bereits Minuten bis Stunden dauern und hier mehrmals aufgerufen werden.
- Evtl. kann die Umlaufplanung so geändert werden, dass sie in kurzer Zeit ein approximiertes Ergebnis liefert.
- Evtl. liefert ein integriertes anstelle eines iterativen Verfahrens bessere Ergebnisse.
- Die Methoden „Batteriewechsel“ und „Laden während der Fahrt“ können durch Anpassung ebenfalls berücksichtigt werden.

Publikationen

Vorstellung des Projektes und der jeweils erzielten Ergebnisse auf Konferenzen:



European Simulation and Modeling (2018)

Geplante Veröffentlichung der jeweils erzielten Ergebnisse in Fachzeitschriften:



Der Nahverkehr

Partner



Gefördert durch:



Projektbeginn: 01.01.2016

Projektende: 30.06.2019

Durchgeführt vom Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak), Magdeburg

