



Ladeplanung und Lademanagement bei Elektrobussen

(1) Problem

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

Für die Bereitstellung einer bestimmten Leistung ist eine Gebühr an den Stromnetzbetreiber zu bezahlen – der Leistungspreis. Die Höhe orientiert sich an den Spitzenwerten, auch wenn diese nur ein Mal im Jahr auftreten.

Ein unkoordiniertes Nachladen kann im Verspätungsfall leicht zu Lastspitzen führen bzw. Probleme durch bereits besetzte Ladepunkte verursachen.

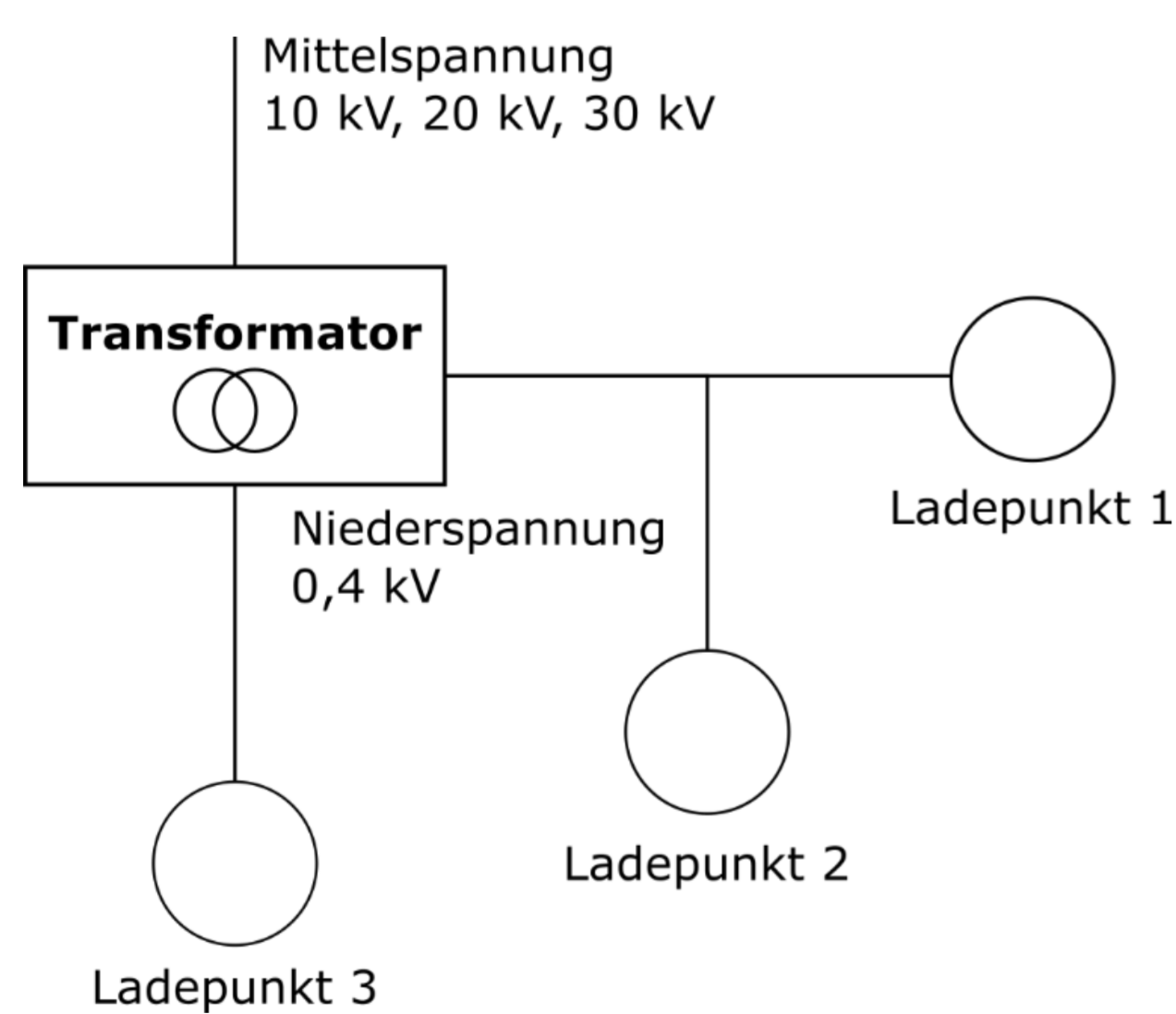
Ziel dieses Teilprojektes:

Koordinierung der Ladevorgänge während der Planung und während des Betriebs, so dass keine Doppelbelegungen der Ladepunkte und keine Lastspitzen entstehen

(2) Fragestellungen

Bei gegebenem Umlaufplan mit maximal möglicher Ladedauer sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie können die Ladevorgänge so geplant werden, dass keine Ladepunkte doppelt belegt werden, sich keine Lastspitzen bilden und der Ladeplan möglichst robust gegenüber Verspätungen ist?
- Wie können die o. g. Bedingungen auch während des Betriebs und insbesondere bei Verspätungen eingehalten werden?



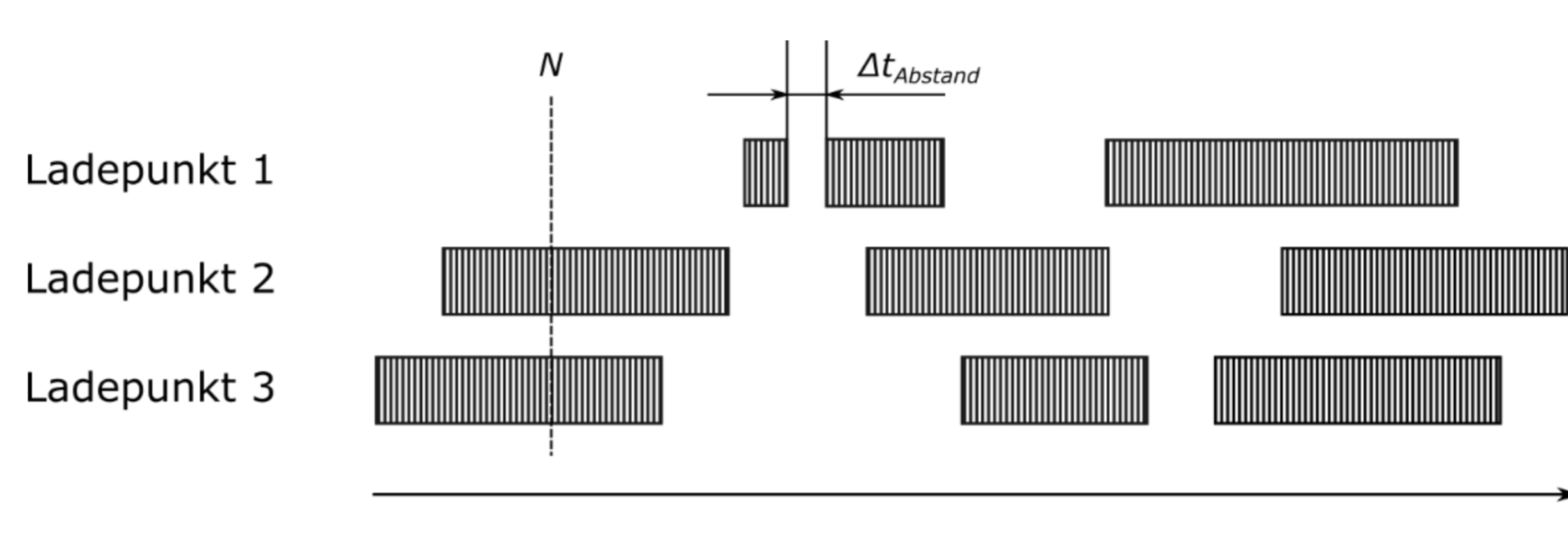
Transformator mit drei Ladepunkten

(3) Methoden

Ladeplanung:

Die maximale Robustheit wird erreicht, wenn die Summe der Quadrate der einzelnen Abstände zwischen den direkt benachbarten Ladevorgängen minimal ist:

$$\sum (\Delta t_{\text{Abstand}})^2 \rightarrow \min$$



Lademanagement:

Der Algorithmus für das Lademanagement ist regelbasiert und nutzt die Informationen aus der Umlaufplanung (wann und wo wird wie lange geladen und welcher Ladezustand ergibt sich daraus).

Die Plandaten werden fortlaufend in Echtzeit mit den Ist-Werte abgeglichen, um (1) die verfügbare Ladeleistung an einzelnen Ladestellen zu berücksichtigen, (2) sicherzustellen, dass der Mindestladestand nicht unterschritten wird, und (3) die maximale Gesamtladeleistung zu begrenzen.

(4) Implementierung

Ladeplanung:

Das Durchprobieren aller möglichen Varianten ist nicht in endlicher Zeit möglich. Da die Ladevorgänge jedoch zeitlich geordnet sind und diese Ordnung auch nur geringfügig verändert werden kann, werden zeitlich beieinander liegende in kleine Einheiten zerlegt, jeweils für sich durch Durchprobieren aller Varianten optimiert und hinterher wieder zusammengefügt.

Lademanagement:

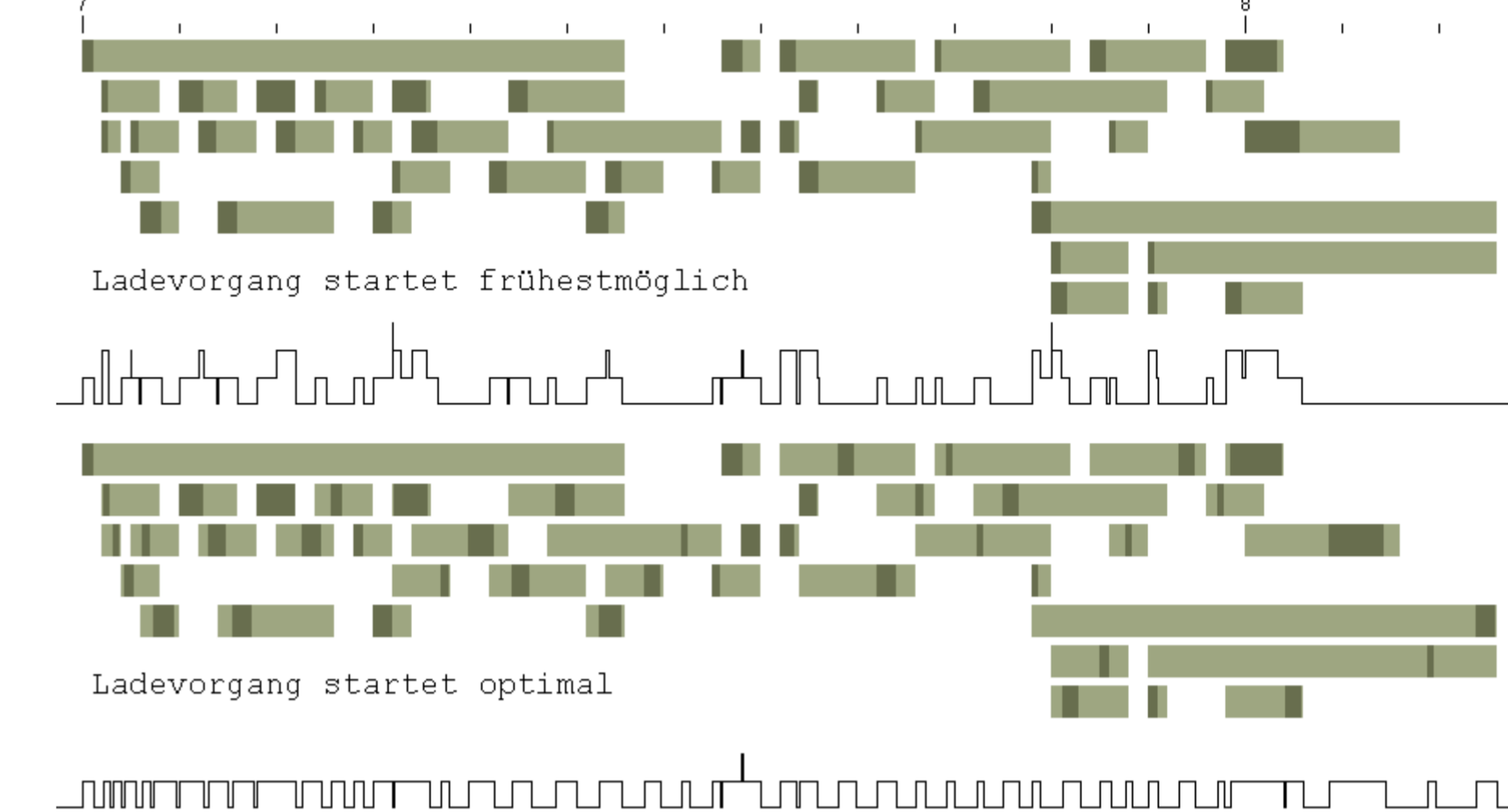
Die Plandaten werden im erweiterten VDV452-Format importiert, das u.a. die geplanten Ladevorgänge beschreibt. Die Ist-Daten werden über eine VDV453-Schnittstelle mit dem ITCS ausgetauscht. Dazu gehören die Prognose der Ankunftszeiten an den Ladestellen, der aktuelle Ladestand sowie die Ladeempfehlungen, die an die Busse kommuniziert werden.

Grundlegende Schritte:

- Verfügbare Ladeleistung für die nächsten 30 Minuten prüfen und ggf. Ladehalte blockieren/limitieren
- Prüfen, ob außerplanmäßig geladen werden muss, wenn ja: Ladeenergie auf die Ladestellen der Reststrecke verteilen
- Prüfen, ob max. Summe der gleichzeitigen Ladeleistung kleiner Grenzwert innerhalb der nächsten 30 Minuten; wenn nicht: Aufladung unterbinden, wo die größten Reserven vorhanden sind

(5) Ergebnisse

Die Ladeplanung berechnet aus der maximal möglichen nachzuladenden Energiemenge und der Haltezeit an den Ladepunkten eine optimale Verteilung der Ladevorgänge in den vorgegebenen Grenzen. Das folgende Diagramm zeigt beispielhaft die Ausgangssituation und das Ergebnis:



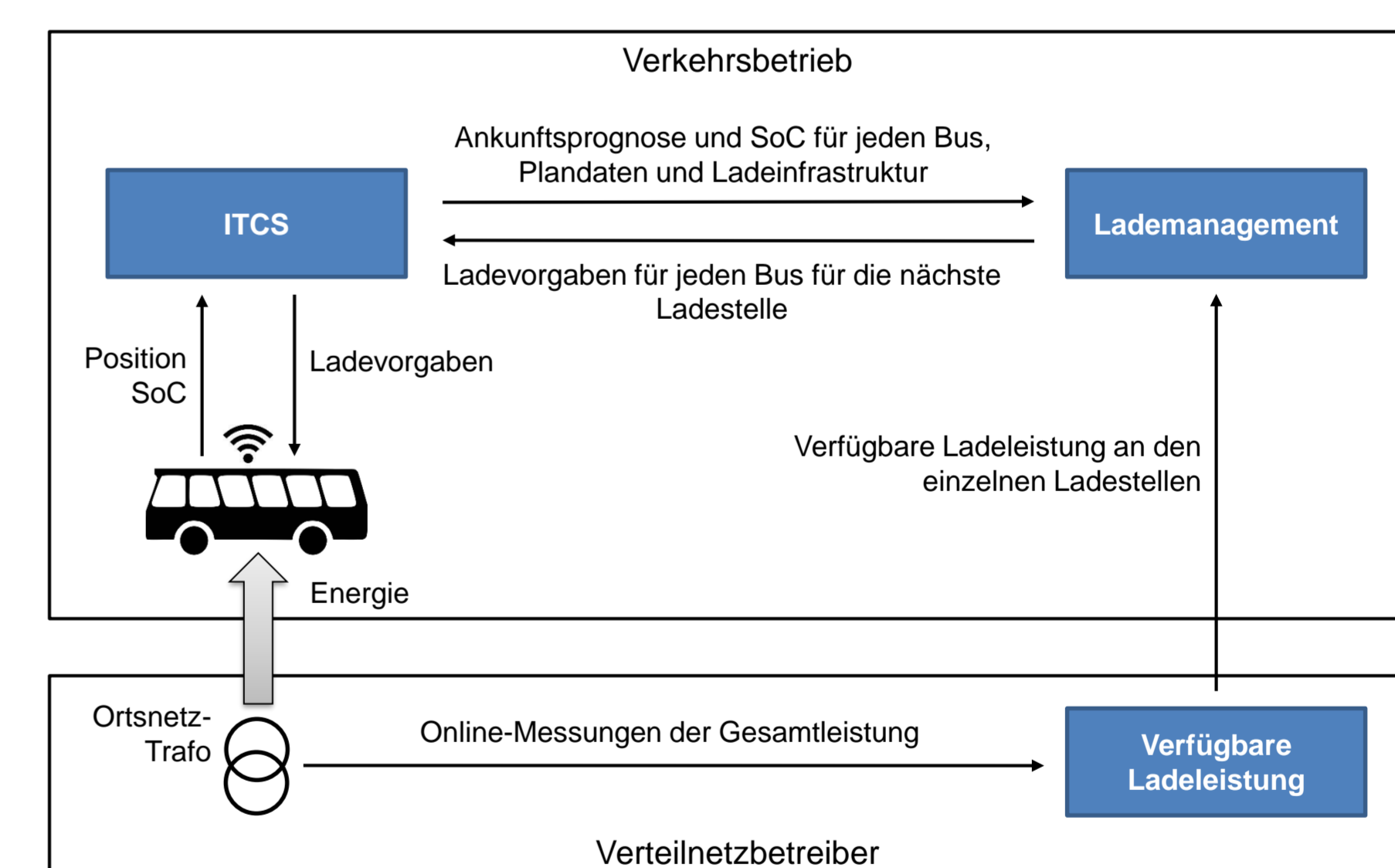
Für die Evaluierung des Lademanagements wurden Szenarien definiert und mit dem Simulator SUMO vom DLR in Verbindung mit dem ITCS von Init simuliert.

- Szenario 1: Beachtung der zeitlich variierenden Verfügbarkeit von Ladeleistung an Ladestellen
- Szenario 2: Vermeidung der Entladung der Batterie unter Grenzwert
- Szenario 3: Vermeidung der Überschreitung der maximal erlaubten Gesamtladeleistung

(6) Ergebnisse und Ausblick

Die Ergebnisdaten der Ladeplanung werden im erweiterten VDV452-Format exportiert und darüber u. a. von MOBILE-PLAN zur Weiterverwendung im ITCS eingelesen.

Das Lademanagement kann als Erweiterung des ITCS aufgefasst und zukünftig in das ITCS integriert werden.



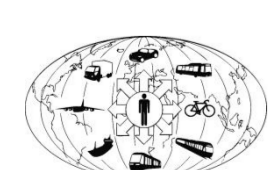
Gesamtarchitektur des Lademanagements im Zusammenspiel mit dem ITCS

Ausblick:

Es gibt eine Vielzahl an Situationen, für die das Lademanagement eine Lösung finden muss. Während des Testbetriebs konnte nur ein kleiner Teil davon erprobt werden. Möglicherweise ist Machine-Learning ein besserer Ansatz als eine regelbasierte Steuerung.

Publikationen

Vorstellung des Projektes und der jeweils erzielten Ergebnisse auf Konferenzen:



Scientific and Technical Conference „Transport Systems. Theory and Practice“ (2019)

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

