

# Konzepte für das Lastmanagement auf großen Busbetriebshöfen

Amra Jahic\*, Mina Eskander und Detlef Schulz  
*Elektrische Energiesysteme*  
*Helmut-Schmidt-Universität /*  
*Universität der Bundeswehr Hamburg*  
 D-22043 Hamburg, Holstenhofweg 85  
 \*E-Mail: amra.jahic@hsu-hh.de

Jörg Burkhardt\* und Heinrich Klingenberg  
*hySOLUTIONS GmbH*  
 D-20095 Hamburg, Steinstraße 25  
 \*E-mail: joerg.burkhardt@hysolutions-hamburg.de

**Kurzfassung**—Um die durch den öffentlichen Verkehr verursachten Schadstoffemissionen zu senken, fordert die Stadt Hamburg eine Umstellung auf emissionsfreie Busse. Demzufolge planen die zwei Busverkehrsunternehmen der Stadt eine Elektrifizierung ihrer Busflotten. Hierfür werden acht große Busbetriebshöfe mit entsprechender Ladeinfrastruktur ausgestattet. Das Lastprofil solcher Busbetriebshöfe ist stark von den Ladevorgängen der Busse abhängig, welche zu einem ungleichmäßig verteilten Lastprofil mit hohen Lastspitzen führen können. Das ist problematisch, sowohl für das lokale Stromnetz als auch für die Auslegung und den späteren Betrieb der installierten Komponenten auf dem Busbetriebshof. Mit einem intelligenten Lademanagementsystem ist es möglich, das Lastprofil zu beeinflussen und dadurch unterschiedliche Zielsetzungen zu erreichen, wie z.B. Lastspitzenminimierung, Ladekostenminimierung, Lastverschiebung oder Minimierung der Batterialterung. Zwei grundlegend unterschiedliche Konzepte sind dafür geeignet: die intelligente Streckenzuweisung und eine intelligente Zeitplanung der Ladevorgänge. In dieser Arbeit werden diese zwei Konzepte analysiert. Ihr Potenzial wird anhand des Beispiels vom Busbetriebshof Alsterdorf untersucht und bewertet. Zwei Zielsetzungen werden in dieser Arbeit betrachtet: Lastverschiebung und Lastspitzenminimierung.

**Stichworte**—Lastmanagement, Elektrobusse, Streckenzuweisung, Zeitplanung der Ladevorgänge

## NOMENKLATUR

e-VSP	Electric Vehicle Scheduling Problem
FIFO	First In First Out
LIFO	Last in First Out
SoC	State of Charge

## I. EINLEITUNG

Der Senat der Freien und Hansestadt Hamburg hat den Hamburger Busverkehrsunternehmen Hamburger Hochbahn AG und Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH (VHH) vorgegeben, ab 2020 nur noch emissionsfreie Busse zu beschaffen. Aufgrund des aktuell größeren Angebots von batteriebetriebenen Fahrzeugen, die die hohen Anforderungen an Technik und betriebliche Einsetzbarkeit erfüllen, haben sich die beiden Unternehmen für elektrische Busse entschieden. Die geplante Umstellung auf eine elektrische Flotte ist nur mit einer passenden Ladeinfrastruktur möglich. Beide Verkehrsunternehmen verfolgen derzeit das Konzept des zentralen Ladens auf den Busbetriebshöfen. Das Laden auf der Strecke ist dementsprechend nicht möglich. Je

nachdem wie viele Busse laden, können solche großen Busbetriebshöfe das lokale Stromnetz signifikant belasten. In [1] wurden die Effekte der Elektromobilität, inklusive E-Bussen, auf das Stromnetz in Hamburg untersucht. In drei Szenarien (für die Jahre 2020, 2025 und 2030) wurden die einzelnen Umspannungsgebiete betrachtet und die durch Elektromobilität verursachten Engpässe wurden identifiziert. Ein zusätzliches Problem für das Stromnetz ist der Charakter des Lastprofils am Netzanschlusspunkt eines Busbetriebshofes. Das Lastprofil wird durch die Ladevorgänge der Busse beeinflusst. Dies führt oft zu einem ungleichmäßig verteilten Lastprofil mit höheren Lastspitzen. Abhängig von den Netzeigenschaften können dadurch am Netzanschlusspunkt Spannungsprobleme auftreten. Außerdem wird die Infrastruktur auf dem Busbetriebshof entsprechend dieser Lastspitzen ausgelegt. Kurze Zeitfenster mit hohen Lasten, gefolgt von langen Perioden mit niedriger Last, führen zu überdimensionierten Komponenten. Mit einem intelligenten Managementsystem ist es möglich, die oben genannten Probleme zu lösen und das Lastprofil zu beeinflussen. Hierfür sind zwei Planungskonzepte anwendbar, die individuell oder zusammen benutzt werden können: die Streckenzuweisung (e-VSP - Electric Vehicle Scheduling Problem) und die Zeitplanung der Ladevorgänge. Mit diesen Planungskonzepten kann das Lastprofil, unter Berücksichtigung der Bedingungen am Busbetriebshof und der Zielsetzungen, angepasst werden.

In dieser Arbeit werden zwei unterschiedliche Konzepte für das Lastmanagement untersucht: Streckenzuweisung und Zeitplanung der Ladevorgänge. In einem Literaturüberblick werden bereits vorgeschlagene Algorithmen analysiert. Die Potenziale dieser zwei Konzepte für Lastverschiebung und Lastspitzenminimierung werden an einem realen Busbetriebshof dargestellt und diskutiert. Für die Berechnung werden die Daten vom Busbetriebshof Alsterdorf benutzt.

## II. LITERATURÜBERBLICK

Die Zeitplanung und Optimierung der Ladevorgänge für Elektrofahrzeuge wurden bereits in mehreren Studien untersucht. Elektrische Busflotten wurden andererseits nur in wenigen Studien analysiert. In [2-4] schlagen die Autoren unterschiedliche Methoden für die Ladeoptimierung von Batteriewechselstationen vor. Eine Optimierungsmethode für Streckenzuweisungen mit dem Ziel der Betriebskostenminimierung wurde in [5] gegeben. Zwei Ladekonzepte wurden in dieser Studie betrachtet: der Batteriewechsel und schnelles Laden. In [6] wurde eine Optimierungsmethode für

Ladevorgänge vorgestellt. Die Busse in dieser Studie benutzen ein schnelles Ladeverfahren während des Tages und reguläres Laden während der Nacht. Eine Optimierungsmethode für Busflotten mit einem kabellosen Ladekonzept wurde in [7] präsentiert. Die Hamburger Busverkehrsunternehmen haben sich für das reguläre Ladeverfahren auf den zentralen Busbetriebshöfen entschieden. Die in [2-7] vorgeschlagenen Optimierungsmethoden sind daher für die Busbetriebshöfe in Hamburg nicht geeignet.

Die Studie [8] fokussiert sich auf gemischte Busflotten mit Elektro- und Dieselbussen. Die Autoren schlagen Optimierungsmethoden für die Streckenzuweisungen und die Planung der Ladevorgänge vor. Das Ziel der Optimierung ist es, die Betriebskosten zu minimieren und die Betriebszeit von Elektrobusen zu maximieren. Ein ähnliches Problem wurde in [9] untersucht. Hier wurde eine gemischte Flotte von Elektro- und Hybridbussen analysiert. Das Ziel der Optimierung der Streckenzuweisungen ist die Minimierung der Betriebskosten. In [10] wurde eine kleine Busflotte von 10 Elektrobusen analysiert. Die variablen Stromkosten während des Tages wurden als Basis für die Optimierung der Ladevorgänge benutzt. Das Ergebnis der Optimierung ist ein kostenoptimaler Ladeplan. In [11] wurde eine zweiphasige Optimierung vorgeschlagen. Als erstes wurde der Energieverbrauch der Busse mit Hilfe von künstlichen neuronalen Netzen vorhergesagt. Basierend auf dieser Vorhersage wurde mit Hilfe einer Optimierungsmethode der kostenoptimale Ladeplan berechnet. Studie [12] hat zwei Zielsetzungen. Mithilfe der vorgeschlagenen Optimierungsmethode wird ein kostenoptimaler Ladeplan berechnet, während gleichzeitig die Batteriealterung minimiert wird. Die Methode wurde mit einem einzelnen Bus getestet. In [13] wurde eine große elektrische Busflotte aus der Stadt Shenzhen in China analysiert. Die Autoren fokussieren sich auf das reguläre Ladekonzept auf Busbetriebshöfen. Die vorgeschlagene Optimierungsmethode für die Streckenzuweisungen und die Planung der Ladevorgänge minimiert sowohl die Anzahl der notwendigen Elektrobusse für die vorgegebenen Strecken als auch die Betriebskosten. Die Busflotte in Shenzhen wurde auch in [14] analysiert. Ein neues Planungssystem namens bCharge wurde entwickelt und für eine Flotte von 16.359 Bussen getestet. bCharge ist ein Online- und Echt-Zeit-Management- und Planungssystem für die Betriebskostenminimierung. Die Studie [15] untersucht ein Planungssystem für ein zentrales Busbetriebshofkonzept, bei dem die Ankunfts- und Abfahrtszeiten vorhergesagt werden. Dementsprechend wurden zwei Ladestrategien für Kostenminimierung, die auf Strompreisen basieren, entwickelt. In [16] wurde das Streckenzuweisungsproblem auf mehreren zentralen Busbetriebshöfen untersucht. Zwei Optimierungsalgorithmen für die Betriebskostenminimierung wurden vorgeschlagen und mit einer Flotte von 27 Bussen und 543 Strecken pro Tag getestet. Studie [17] stellt zwei Algorithmen zur Optimierung der Ladevorgänge mit dem Ziel der Lastspitzenminimierung vor. Hierbei wurde der Busbetriebshof Alsterdorf untersucht.

### III. BUSBETRIEBSHOF ALSTERDORF

Der Busbetriebshof Alsterdorf ist ein neu errichteter Busbetriebshof der HOCHBAHN mit Platz für 240 Busse. Frühere Studien haben die benötigte Anschlussleistung dieses Busbetriebshofes auf 16,56 MW abgeschätzt [18]. Aufgrund des hohen Leistungsbedarfs wird der Busbetriebshof an das 110 kV Netz angeschlossen. Abb. 1 zeigt die geplante

elektrische Infrastruktur. Zwei redundante Transformatoren versorgen die vier 20-kV-Ringe innerhalb des Busbetriebshofes mit der Energie aus dem 110 kV Netz. Ein Ring versorgt das Administrationsgebäude und die Werkstatt. Die restlichen drei Ringe versorgen die Carports. Die Ladegeräte versorgen die Busse mit einer Leistung von 150 kW. Während der Vorkonditionierung kann diese Leistung reduziert werden. In den Wintermonaten müssen die Busse oft eine Stunde lang vorheizen. In diesem Fall stehen nur 85 kW zum Laden der Busse zur Verfügung, da die restlichen 65 kW für die Vorkonditionierung bzw. das Heizen der Busse notwendig sind.

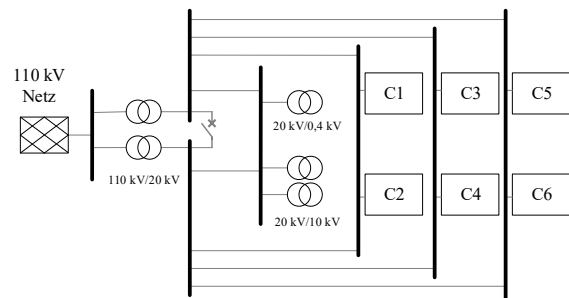


Abbildung 1: Elektrische Infrastruktur auf dem Busbetriebshof Alsterdorf

Der Energiebedarf der Busse hängt von Parametern wie der Umgebungstemperatur, der Anzahl der Passagiere und den Streckeneigenschaften ab. Tab. 1. stellt den Energiebedarf der Busse in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur dar. Die Anzahl der Passagiere und die Streckeneigenschaften werden in den nachfolgenden Betrachtungen vernachlässigt.

Für die weitere Analyse in dieser Arbeit wurde ein Szenario mit folgenden Parametern betrachtet:

- 127 Busse
- 236 Strecken pro Tag
- Umgebungstemperatur von  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabelle 1: Energiebedarf für verschiedene Bustypen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur [1]

Energiebedarf [kWh/km]	Umgebungstemperatur		
	$-15\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$28\text{ }^{\circ}\text{C}$
Solobus (12 m)	2,11	1,42	1,60
Gelenkbus (18 m)	3,25	2,05	2,40
Doppelgelenkbus (22 m)	4,50	2,68	3,17

## IV. KONZEPTE FÜR DAS LASTMANAGEMENT

### A. Problem Definition

Ohne intelligentes Managementsystem sind die Busse entweder im Voraus zu bestimmten Strecken fest zugewiesen oder es wird ein einfacher Zuweisungsalgorithmus verwendet, wie z.B. FIFO (First-In-First-Out). In diesem Fall erfolgt die Ladung gleich nach der Ankunft auf dem Busbetriebshof. Die Abb. 2 zeigt das Lastprofil des Busbetriebshofes Alsterdorf ohne intelligentes Managementsystems, mit Streckenzuweisung nach dem FIFO-Prinzip und mit sofortigem Laden. Die folgenden Fragen ergeben sich aus Abb. 2: Wie und in wieweit kann dieses Lastprofil beeinflusst werden, um verschiedene Zielsetzungen zu erreichen, wie z.B.:

- Ladekostenminimierung
- Lastspitzenminimierung
- Lastprofilverflachung

- Lastprofilverschiebung (z.B. Valley-Filling in intelligenten Netzen)
- Anpassung des Lastprofils entsprechend der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
- Minimierung der Batteriealterung

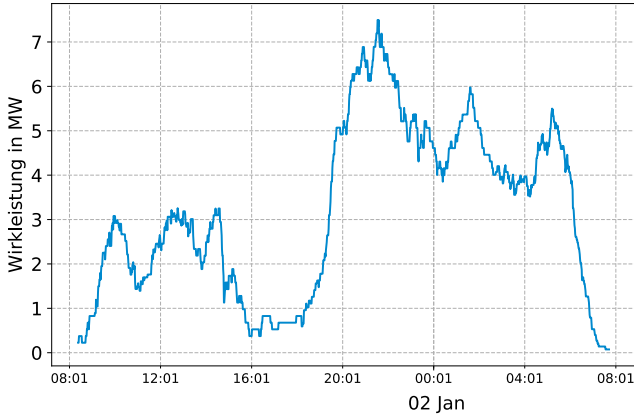


Abbildung 2: Lastprofil auf dem Busbetriebshof Alsterdorf berechnet mit dem FIFO Zuweisungsprinzip und sofortigem Laden der Busse

Im Weiteren werden zwei Möglichkeiten für das intelligente Lastmanagement untersucht: Streckenzuweisung (e-VSP) und Optimierung der Ladevorgänge.

### B. Intelligente Streckenzuweisung

Die effiziente Streckenzuweisung ist ein sehr bekanntes Problem (Vehicle Scheduling Problem). Die Fahrzeuge sollen zu den bereits definierten Strecken zugewiesen werden, mit dem Ziel der Betriebskostenminimierung. Das klassische VSP für ein zentrales Depot hat die folgenden Bedingungen:

- Jede Strecke wird einem Fahrzeug zugewiesen.
- Die Anzahl der Strecken, die ein Fahrzeug fährt, ist realistisch.
- Jedes Fahrzeug beginnt und beendet die Fahrt auf dem Depot.
- Die Betriebskosten sind minimal.

Das e-VSP Problem ist eine Erweiterung des klassischen VSP mit zusätzlichen Bedingungen:

- Der SoC (State of Charge) der Batterie darf nicht unter eine vorgegebene Grenze fallen.
- Elektrofahrzeuge können nur an bestimmten Stellen geladen werden.

Die Studien [4,5,8,9,16] geben Optimierungsbeispiele für das e-VSP mit Elektrobussen, gelöst durch unterschiedliche Optimierungsmethoden, wie z.B. genetische Algorithmen [4], Verfahren der Spaltengenerierung [5,16], Greedy-Algorithmen [8] oder ganzzahlige lineare Programmierung [9,16]. Die Kostenminimierung ist das Hauptziel der Optimierung in diesen Studien. Es ist möglich auch weitere Zielsetzungen zu berücksichtigen.

Einige Zielsetzungen können durch die Anwendung von einfachen Methoden erreicht werden. Ein Beispiel ist die Lastverschiebung vom Tag zur Nacht. Ein einfaches Zuweisungsprinzip LIFO (Last-In-First-Out) ist dafür gut geeignet. Abb. 3 zeigt die Lastprofile am Netzanschlusspunkt berechnet mit den FIFO und LIFO Konzepten. Das LIFO-Lastprofil zeigt eine geringere Last während des Tages (10:00-16:00) und stattdessen eine höhere Last während der Nacht (21:00-02:00).

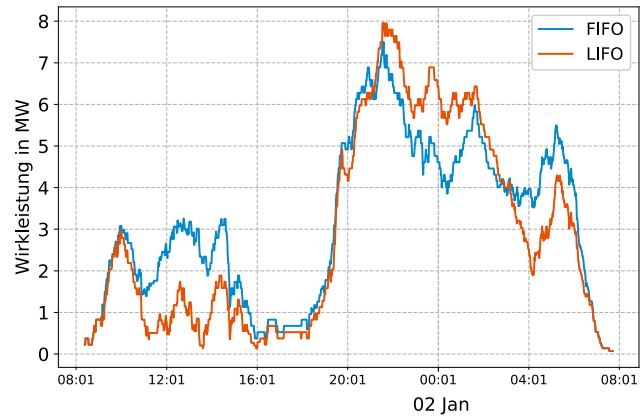


Abbildung 3: Vergleich zwischen den Lastprofilen erzeugt mit FIFO und LIFO Streckenzuweisungsprinzipen

### C. Optimierung der Ladevorgänge

Abb. 4 zeigt eine graphische Darstellung des Optimierungsproblems. Das schwarze Rechteck repräsentiert den Bus. Jeder Bus  $b$  hat seine Ankunftszeit  $a_b$ , Abfahrtszeit  $d_b$  und die für das Laden benötigte Zeit  $l_b$ , so dass:

$$d_b - a_b \geq l_b \geq 0. \quad (1)$$

Der Bus lädt in dem Zeitfenster  $[s_b, s_b + l_b]$ , so dass:

$$[s_b, s_b + l_b] \in [a_b, d_b], \quad (2)$$

wobei  $s_b$  der Start des Ladens ist.

Die gesamte Last  $P(t)$  zu einem Zeitpunkt  $t$  ist die Summe der Lasten der einzelnen Busse  $p_b$ , die in diesem Zeitpunkt laden:

$$P(t) = \sum_{b, t \in [s_b, s_b + l_b]} p_b. \quad (3)$$

Das Ziel der Optimierung ist es, für jeden Bus den Start des Ladens  $s_b$  so zu definieren, dass die Last  $P(t)$  für das gesamte analysierte Zeitfenster  $[0, T]$  entsprechend der Zielsetzung angepasst wird.

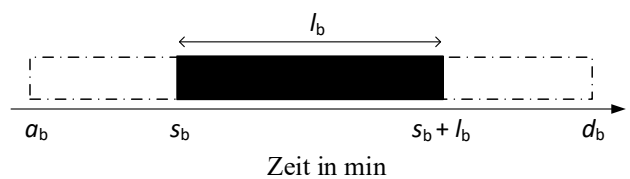


Abbildung 4: Graphische Darstellung des Optimierungsproblems für das Planen der Ladevorgänge

Im Fall der Lastspitzenminimierung wurde die maximale Last  $P_{\max}$  als die größte  $P(t)$  aus dem analysierten Zeitfenster  $[0, T]$  berechnet. Das Ziel der Optimierung in diesem Fall ist es, alle Beginne  $s_b$  zu bestimmen, so dass  $P_{\max}$  minimiert wird. Abb. 5 stellt die zwei Lastprofile mit FIFO und LIFO Streckenzuweisungsprinzip nach der Anwendung des in [17] vorgeschlagenen heuristischen Algorithmus für Lastspitzenminimierung dar.

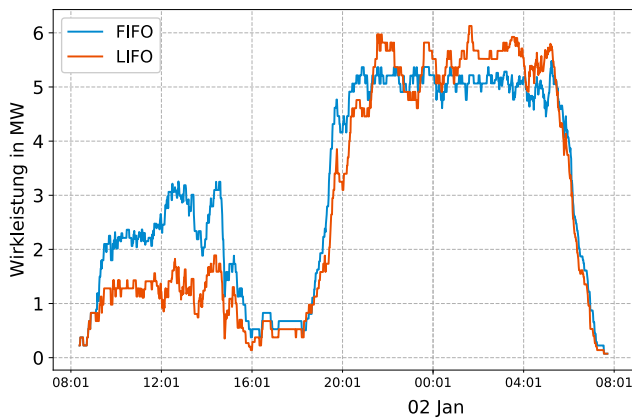


Abbildung 5: Vergleich zwischen den Lastprofilen erzeugt mit FIFO und LIFO Streckenzuweisungsprinzipien nach der Anwendung eines Algorithmus für Lastspitzenminimierung

## V. ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurden zwei unterschiedliche Konzepte für das Lastmanagement auf großen Busbetriebshöfen untersucht: Streckenzuweisung und Zeitplanung der Ladevorgänge. Ein Modell des Busbetriebshofes Alsterdorf wurde für die Berechnung der Lastprofile am Netzanschlusspunkt benutzt. Die Analyse zeigt, dass es mit beiden Konzepten möglich ist, das Lastprofil zu beeinflussen. Die Lastprofilverschiebung wurde anhand zwei einfacher Streckenzuweisungskonzepte betrachtet, FIFO und LIFO. Im Vergleich zum FIFO-Konzept, verschiebt das LIFO-Konzept die Last vom Tag (10:00-16:00) auf die Nacht (21:00-02:00). Für beide Konzepte wurde eine Optimierungsmethode für die Zeitplanung der Ladevorgänge angewendet. Die Zielsetzung war in diesem Fall die Lastspitzenminimierung. Das FIFO-Lastprofil zeigte eine Lastspitze von 3,25 MW während des Tages und 5,47 MW während der Nacht. Das LIFO-Lastprofil zeigte demgegenüber eine Lastspitze von 1,89 MW während des Tages und 6,12 MW während der Nacht. Demnach kann allein durch die Wahl des Zuweisungsprinzips die vom Netz abgerufene Spitzenlast um 10,6 % reduziert werden.

In dieser Arbeit wurden zwei Zielsetzungen berücksichtigt: Lastprofilverschiebung und die Lastspitzenminimierung. Das Potenzial der zwei untersuchten Konzepte für andere Zielsetzungen kann durch die Anpassung der Optimierungsziele und Methoden untersucht werden. Dies ist das Thema unserer zukünftigen Arbeit.

## DANKSAGUNG

Diese Arbeit ist Teil des Projektes "Wissenschaftliche Begleitforschung zum Aufbau von Ladeinfrastrukturen auf Busbetriebshöfen" und wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert (AKZ G20/3552.1/3).

## LITERATUR

- [1] M. Dietmannsberger, M. Meyer, M. Schumann und D. Schulz, "Anforderungen an das Stromnetz durch Elektromobilität, insbesondere Elektrobusse, in Hamburg," Helmut-Schmidt-Universität, 2017. [Online]. Verfügbar: <http://edoc.sub.uni-hamburg.de/hsu/volltexte/2017/3156/>. [letzter Zugriff am: 28.05.2019]
- [2] Q. Dai, T. Cai, S. Duan, W. Zhang und J. Zhao, "A smart energy management system for electric city bus battery swap station," in *IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, Beijing, China, 2014.
- [3] P. You, Z. Yang, Y. Zhang, S. Low und Y. Sun, "Optimal charging schedule for a battery switching station serving electric buses," in *IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, Boston, MA, USA, 2016.
- [4] C. Zhu und X. Chen, "Optimizing Battery Electric Bus Transit Vehicle Scheduling with Battery Exchanging: Model and Case Study," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Bd. 96, S. 2725-2736, 2013.
- [5] J.-Q. Li, "Transit Bus Scheduling with Limited Energy," *Transportation Science*, Bd. 48, Nr. 4, S. 521-539, 2014.
- [6] Y. Yan, J. Jiang, W. Zhang, M. Huang, Q. Chen und H. Wang, "Research on Power-Deamnd Suppression Based on Charging Optimization and BESS Configuration for Fast-Charging Station in Beijing," *Applied Sciences*, Bd. 8, 1212, 2018.
- [7] C. Yang, W. Lou, J. Yao und S. Xie, "On Charging Scheduling Optimization for a Wirelessly Charged Electric Bus System," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Bd. 19, Nr. 6, S. 1814-1826, 2018.
- [8] T. Paul und H. Yamada, "Operation und Charging Scheduling of Electric Buses in a City Bus Route Network," in *IEEE 17 th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Qingdao, China, 2014.
- [9] M. Rinaldi, F. Parisi, G. Laskaris, A. D'Adriano und F. Viti, "Optimal dispatching of electric and hybrid buses subject to scheduling and charging constraints," in *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Maui Hawaii, USA, 2018.
- [10] R.-C. Leou und J.-J. Hung, "Optimal Charging Schedule Planning and Economic Analysis for Electric Bus Charging Stations," *Energies*, Bd. 10, Nr. 4, 483, 2017.
- [11] Y. Gao, S. Guo, J. Ren, Z. Zhao, A. Ehsan und Y. Zheng, "An Electrical Bus Power Consumption Model and Optimization of Charging Scheduling Concerning Multi-External Factors," *Energies*, Bd. 11, Nr. 8, 2060, 2018.
- [12] A. Houbbadi, R. Trigui, S. Pelissier, T. Bouton und E. Redondo-Iglesias, "Multi-Objective Optimisation of the Management of Electric Bus Fleet Charging," in *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Belfort, France, 2017.
- [13] M. Jiang, Y. Zhang, Y. Zhang, C. Zhang, K. Zhang und Z. Zhao, "Operation and Scheduling of Pure Electric Buses under Regular Charging Mode," in *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Maui, Hawaii, USA, 2018.
- [14] G. Wang, X. Xie, F. Zhang, Y. Liu und D. Zhang, "bCharge: Data-Driven Real-Time Charging Scheduling for Large-Scale Electric Bus Fleets," in *IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS)*, Nashville, TN, USA, 2018.
- [15] H. Chen, Z. Hu, Z. Xu, J. Li, H. Zhang, X. Xia, K. Ning und M. Peng, "Coordinated charging strategies for electric bus fast charging stations," in *IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Xi'an, China, 2016.
- [16] M. E. van Kooten Niekerk, J. M. van den Akker und J. A. Hoogeveen, "Scheduling electric vehicles," *Public Transport*, Bd. 9, S. 155-176, 2017.
- [17] A. Jahic, M. Eskander und D. Schulz, "Charging Schedule for Load Peak Minimization on Large-Scale Electric Bus Depots," *Applied Sciences*, Bd. 9, Nr. 9, 1748, 2019.
- [18] M. Dietmannsberger, M. Schumann, M. Meyer und D. Schulz, "Modelling the Electrification of Bus Depots using Real Data: Consequences for the Distribution Grid and Operational Requirements," in *1st E-Mobility Power System Integration Symposium*, Berlin, Germany, 2017.