

Synthetisches Lastprofil für elektrische Busbetriebshöfe

Amra Jahic*, Maik Plenz, Detlef Schulz

Institut für Elektrische Energiesysteme
Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr
Hamburg
Hamburg, Deutschland
*amra.jahic@hsu-hh.de

Florian Leunig

Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH
Hamburg, Deutschland

Kurzfassung – Die fortlaufende Elektrifizierung der Busflotten führt zu neuen Herausforderungen, sowohl für den Flottenbetreiber als auch für das bestehende Energieversorgungssystem. Ein detailliertes Verständnis der Lastprofile der entsprechenden Busbetriebshöfe kann eventuelle Risiken mildern und zusätzlich eine Reihe von unterschiedlichen markt- und netzorientierten Use Cases ermöglichen. Die synthetischen Lastprofile bieten sich hierbei als eine gute Grundlage für die relevanten Design-, Betrieb- oder Optimierungsanalysen. Dieses Paper definiert synthetische Lastprofile der elektrischen Busbetriebshöfe, basierend auf der Analyse der 17 bestehenden Busbetriebshöfe in der Metropolregion Hamburg. Mithilfe einer Clustering-Analyse konnten drei unterschiedliche synthetische Lastprofile definiert werden, abhängig von den Charakteristiken der Busbetriebshöfe und den dazugehörigen Umläufen.

Stichworte – Elektrische Busbetriebshöfe, Synthetisches Lastprofil, Clustering-Analyse, k-Means

NOMENKLATUR

BBH	Busbetriebshof
P_{\max}	Lastspitze – maximal auftretende Leistung in dem analysierten Zeitraum
P_n	Normalisierte Lastspitze
N_B	Anzahl der Busse auf dem BBH
x_i	Beobachtung (Zeitreihe) i , die für das Clustering benutzt wird
a_i	Durchschnittlicher Abstand zwischen Datenpunkt i und allen anderen Punkten im selben Cluster C_j
b_i	Kleinster durchschnittlicher Abstand von Datenpunkt i zu allen Punkten in den anderen, nicht eigenen, Clustern
C_j	Cluster j
μ_j	Mittelwert im Cluster j
s	Silhouetten-Koeffizient für den ausgewählten Anzahl der Cluster

I. EINLEITUNG

Die Umstellung des öffentlichen Nahverkehrs auf Elektrobusse ist ein vielsichtiger Prozess. Einerseits bestehen

vielfältige Herausforderungen. Die Flottenbetreiber müssen ihre Prozesse, Infrastruktur und Managementsysteme grundlegend umstellen und auf die Besonderheiten der Elektrobusse anpassen. Abhängig von den Rahmenbedingungen, kommen auf die Betreiber des nahestehenden Netzes ebenso Herausforderung wie Netzzrückwirkungen, Engpässe oder fehlende Kapazitäten zu [1-3]. Die bisherigen Forschungen haben allerdings gezeigt, dass sich die erwähnten Herausforderungen und die dazugehörigen Risiken mit intelligentem Management begrenzen lassen [3-5]. Dazu kommen die neuen Chancen, die diese Umstellung bietet. Aufgrund ihrer Eigenschaften und des Nutzungsverhaltens verfügen die Elektrobusse und die dazugehörigen Busbetriebshöfe (BBH) über Leistungsflexibilitäten [6]. Diese kann für unterschiedliche markt- und netzorientierte Use Cases genutzt werden [7-10]. Eine Grundlage für die Analyse der erwähnten Risiken und potenziellen Chancen ist ein Verständnis der Last der entsprechenden BBH. Dies kann unter anderem durch die Analyse der synthetischen Lastprofile der BBH und den relevanten Einflussfaktoren erreicht werden.

Die synthetischen Lastprofile sind ein anerkanntes Werkzeug für Analyse, Betrieb und Optimierung der elektrischen Energiesysteme. Die im Auftrag des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) definierten repräsentativen Lastprofile für Haushalte, Gewerbe und Landwirtschaftsbetriebe dienen für viele Verteilnetzbetreiber als Grundlage für die Berechnung der Standardlastprofile (SLP) für das eigene Netz [11]. Diese basieren auf historischen Daten und stellen das typische tägliche Verhalten der Verbraucher in der jeweiligen Gruppe, in der Abhängigkeit von dem Tag, Saison oder Umgebungstemperatur dar. Allerdings werden die SLPs für diese Gruppen im Zuge der bevorstehenden Elektrifizierung unterschiedlicher Mobilitätsträger geändert [12, 13]. Die SLPs für die öffentliche Ladeinfrastruktur in Deutschland konnten bereits analysiert werden, allerdings basieren nur wenige auf gemessenen historischen Daten [14]. Im Bereich der elektrischen BBH existieren zum aktuellen Zeitpunkt noch keine Analysen der synthetischen Lastprofile, was die Neuheit dieses Papers hervorhebt.

Dieses Paper ist wie folgt aufgebaut. Nach der Einleitung wird im zweiten Kapitel die Vorgehensweise bei der Berechnung dargestellt. Diese bezieht sich auf die Beschreibung der analysierten BBH, die Analyse ihrer Eigenschaften und die Berechnung der entsprechenden

Lastprofile. Das dritte Kapitell stellt die Clusteranalyse vor. Zuerst wird die mathematische Vorgehensweise dargestellt. Darauffolgend werden die resultierenden Cluster und die entsprechenden synthetischen Lastprofile präsentiert. Die Zusammenfassung der Arbeit, künftige Untersuchungen sowie die Einschränkung der vorgeschlagenen Methode werden im vierten Kapitel erläutert.

II. VORGEHENSWEISE

Im Rahmen der Analyse wurden insgesamt 17 unterschiedliche, reale BBH aus der Metropolregion Hamburg mit dem Ziel analysiert, ein tiefgehendes Verständnis ihrer Lastprofile zu bekommen. Die Analyse wurde genutzt, um synthetische Lastprofile für BBH mit unterschiedlichen Merkmalen zu erstellen. Dies wurde in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt wurden die BBH einzeln analysiert. Die tatsächlichen Umläufe der heute verwendeten konventionellen Busse (meistens Dieselbusse) bilden die Grundlage für die Berechnung, da die Elektrobusse künftig dieselben Umläufe abdecken müssen. Die Lastprofile wurden mithilfe eines selbst entwickelten Bus Depot Simulators (BDS) berechnet. Dies ist eine Co-Simulationsplattform für die Analyse elektrischer BBH, die in der Lage ist, den gesamten Betrieb zu simulieren [15]. Durch die Lastflussanalyse wurden die elektrischen Größen, wie z.B. Leistung, auf unterschiedlichen Punkten, inkl. Netzanschlusspunkt, berechnet. Entscheidend für die Analyse ist das Lastprofil, definiert als der Verlauf der Wirkleistung am Netzanschlusspunkt während des analysierten Zeitraums. Alle Lastprofile wurden unter Verwendung der Gesamtanzahl der Busse N_B auf dem BBH und der maximal auftretenden Leistung (Lastspitze) P_{max} normalisiert wie in (1) dargestellt. Die normalisierte Lastspitze P_n ist wichtig, um einen Vergleich verschiedener BBH zu ermöglichen. Im zweiten

Schritt werden die 17 normalisierten Lastprofile als Eingabe für einen Clustering-Prozess verwendet.

$$P_n = \frac{P_{max}}{N_B} \quad (1)$$

Das Clustering verfolgt zwei Ziele. Erstens konzentriert es sich auf die Bestimmung der Anzahl der Cluster und der Merkmale von Busbetriebshöfen. Zweitens ist das Ziel, ein synthetisches Lastprofil für jedes der resultierenden Cluster abzuleiten.

A. Eigenschaften der analysierten Busbetriebshöfen

Die Merkmale der 17 analysierten BBH sind in TABELLE I aufgeführt. Aufgrund von Vertraulichkeitsvereinbarungen mit den jeweiligen Verkehrsunternehmen sind die Busbetriebshöfe anonymisiert. Die BBH in Hamburg sind als „städtisch“ gekennzeichnet, während die BBH aus dem benachbarten Bundesland Schleswig-Holstein als „ländlich“ gekennzeichnet sind. Die Boxplots für die Umlaufdauer und die Umlauflänge für jeden der BBH sind in ABBILDUNG 1 dargestellt. Die rote Linie repräsentiert den Medianwert, während die Box den Bereich mit 50 % aller Datenpunkte anzeigt. Wie zu sehen ist, zeigen verschiedene BBH unterschiedliche Spannweite für Umlaufdauer und Umlauflänge. Die Median-Umlauflänge liegt zwischen 120 und 170 km, während die Median-Umlaufdauer zwischen 6 und 9 h bleibt. Die Umläufe sind Rundfahrten, was bedeutet, dass der Bus immer zum selben BBH zurückkehrt. Für die Mehrheit der BBH liegt die Hauptabfahrtszeit in den Morgenstunden, zwischen 4:00 und 7:00 Uhr. Die BBH zeigen jedoch eine hohe Vielfalt in der Verteilung von Ankünften und Abfahrten im Laufe des Tages.

Die ABBILDUNG 2 zeigt die Lastprofile für einen typischen Arbeitstag für alle analysierten BBH, die mit dem BDS

TABELLE I: EIGENSCHAFTEN DER ANALYSIERTEN BUSBETRIEBSHÖFE.

BBH	Anzahl der Busse	Anzahl der Umläufe (Werktag)	Lastspitze in MW	Normalisierte Lastspitze in pu	Anzahl der Busse die gleichzeitig laden in %	Städtisch oder ländlich
BBH1	185	272	6,87	0,037	24,77	städtisch
BBH 2	89	156	3,44	0,038	25,24	städtisch
BBH 3	108	173	5,17	0,047	31,49	städtisch
BBH 4	162	259	6,70	0,041	27,42	städtisch
BBH 5	148	236	7,14	0,048	32,17	städtisch
BBH 6	178	252	7,01	0,039	26,25	städtisch
BBH 7	86	127	3,79	0,044	29,14	städtisch
BBH 8	28	46	1,17	0,042	27,71	ländlich
BBH 9	38	52	1,44	0,038	25,26	städtisch
BBH 10	16	21	0,97	0,061	40,44	städtisch
BBH 11	24	35	1,55	0,065	43,14	ländlich
BBH 12	38	55	1,58	0,042	27,76	ländlich
BBH 13	69	107	2,31	0,033	21,57	ländlich
BBH 14	23	31	0,90	0,039	26,08	ländlich
BBH 15	47	71	2,09	0,045	29,77	ländlich
BBH 16	58	92	2,21	0,038	24,22	ländlich
BBH 17	25	38	0,99	0,038	25,38	ländlich

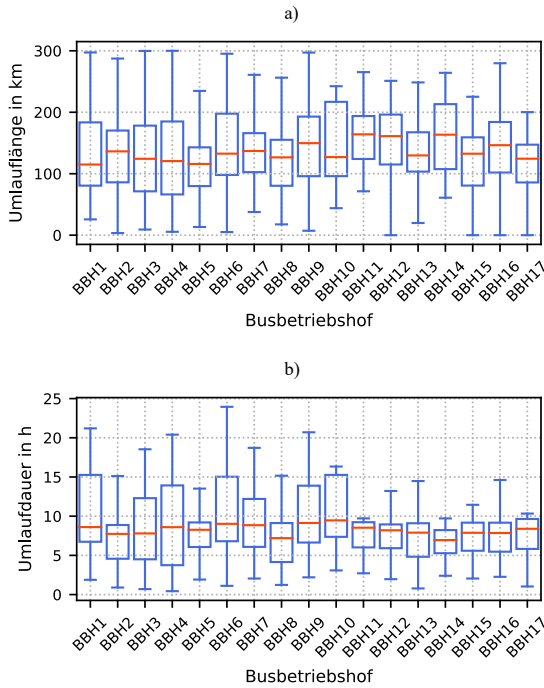


ABBILDUNG 1: DER BOXPLOT DER A) UMLAUFLÄNGE UND B) UMLAUFDAUER FÜR DIE 17 ANALYSIERTEN BUSBETRIEBSHÖFE.

berechnet wurden. Wie schon beschrieben handelt sich dabei um normalisierte Lastprofile, unter Verwendung der Gesamtanzahl der Busse im jeweiligen BBH. Um die Auswirkungen der Umgebungstemperatur auszuschließen, wurden die Lastprofile in diesem Beispiel bei einer konstanten Temperatur von 0 °C berechnet, was ein eher konservatives Szenario für den Energieverbrauch der Busse darstellt. Der Lastspitze in MW sowie die normalisierte Lastspitze in pu werden in TABELLE I für jeden BBH dargestellt. Die Lastprofile für verschiedene BBH zeigen unterschiedliche Verläufe. Es ist zu beobachten, dass die Lastspitze für die Mehrheit der Depots im Bereich von 0,03 bis 0,07 pu liegt. Da die Normalisierung auf Grundlage der Gesamtanzahl der Busse im Depot durchgeführt wurde, kann pu als MW pro Bus interpretiert werden. Es ist außerdem zu beobachten, wie die maximale Anzahl der gleichzeitig ladenden Busse, die ebenfalls in TABELLE I angezeigt wird, variiert. Es scheint, dass selbst ohne intelligentes Management die maximale Anzahl der gleichzeitig ladenden Busse für die große Mehrheit der BBH zwischen 20 und 30 % liegt, wobei nur bei zwei BBH mehr als 40 % der Busse gleichzeitig laden. Trotz der Ähnlichkeit in der normalisierten Lastspitze unterscheidet sich die Form des Lastprofils tatsächlich erheblich für verschiedene BBH. Während einige BBH deutliche Tag- und Nacht-Phasen haben, ist die Last bei einigen BBH auf andere Art verteilt. Die Clustering-Analyse, die im nächsten Abschnitt durchgeführt wird, gibt weitere Einblicke in die Gründe für dieses Merkmal.

III. CLUSTERANALYSE DER LASTPROFILE

A. Vorgehensweise

Die Clusterbildung für die 17 verschiedenen Lastprofile in diesem Abschnitt erfolgt mithilfe der k-Means-Methode und der Python-Bibliothek scikit-learn. Die k-Means-Methode zielt darauf ab, ähnliche Zeitreihen in Cluster zu gruppieren. Bei gegebener Menge von n Datenpunkte (x_1, x_2, \dots, x_n)

gruppiert die k-Means-Clustering die Datenpunkte in k Cluster $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, wobei die Varianz minimiert wird, wie in (2) gezeigt. Der Mittelwert μ_j der Punkte im Cluster C_j ist in (3) definiert. Der Lloyd-Algorithmus wurde verwendet, um das gegebene Problem zu lösen. Dieser Algorithmus kann in zwei grundlegende Schritte vereinfacht werden, die wiederholt werden, bis der erste Schritt keine Änderungen mehr ergibt:

- Jede Beobachtung wird dem Cluster mit dem nächstgelegenen Mittelwert zugeordnet.
- Der Mittelwert wird für die den Clustern zugeordneten Beobachtungen neu berechnet.

$$\min \sum_{j=1}^k \sum_{x \in C_j} \|x - \mu_j\|^2 \quad (2)$$

$$\mu_j = \frac{1}{|C_j|} \sum_{x \in C_j} x \quad (3)$$

Der erste Clustering-Versuch hat den BBH 10 isoliert und unabhängig von der Anzahl der Cluster diesen BBH konsequent als den einzigen BBH in dem jeweiligen Cluster eingruppiert. Aus diesem Grund wurde der BBH 10 als Outlier betrachtet und von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Die Qualität des Clusterings wurde mit zwei Methoden bewertet, der Ellbogenmethode und dem Silhouetten-Koeffizient. Erstens wurde die Ellbogenmethode auf der Grundlage der Trägheit berechnet, die die Summe der quadrierten Abstände der Datenpunkte zu ihrem nächsten Clusterzentrum $\|x - \mu_j\|^2$ darstellt. ABBILDUNG 3 zeigt die Trägheit für verschiedene Anzahlen von Clustern. Wie zu sehen ist, deutet der Ellbogen der Kurve darauf hin, dass die analysierten Zeitreihen am besten mit drei Clustern beschrieben werden können. Zusätzliche Klarheit bezüglich der Anzahl der Cluster wird mithilfe des Silhouetten-Koeffizienten s gewonnen, wie in (4) definiert, wobei a_i den durchschnittlichen Abstand zwischen Datenpunkt i und allen anderen Punkten im selben Cluster C_j und b_i den kleinsten durchschnittlichen Abstand von Datenpunkt i zu allen Punkten in den anderen Clustern darstellt.

$$s = \frac{b_i - a_i}{\max\{a_i, b_i\}}, \text{ if } |C_j| > 1 \quad (4)$$

Wie zu sehen ist, ist der Silhouetten-Koeffizient für einen Cluster, der nur einen Datenpunkt hat, nicht eindeutig definiert. Der Silhouetten-Koeffizient kann einen Wert zwischen -1 (falsche Clusterbildung) und 1 (sehr dichte Clusterbildung) haben. Werte um null deuten auf überlappende Cluster hin. Im Allgemeinen ist der Wert höher, wenn die Cluster dicht und gut voneinander getrennt sind. Der Silhouetten-Koeffizient in der ABBILDUNG 3 hat seinen größten Wert bei drei Clustern und bestätigt somit, dass die Zeitreihen am besten mit drei Clustern beschrieben werden können.

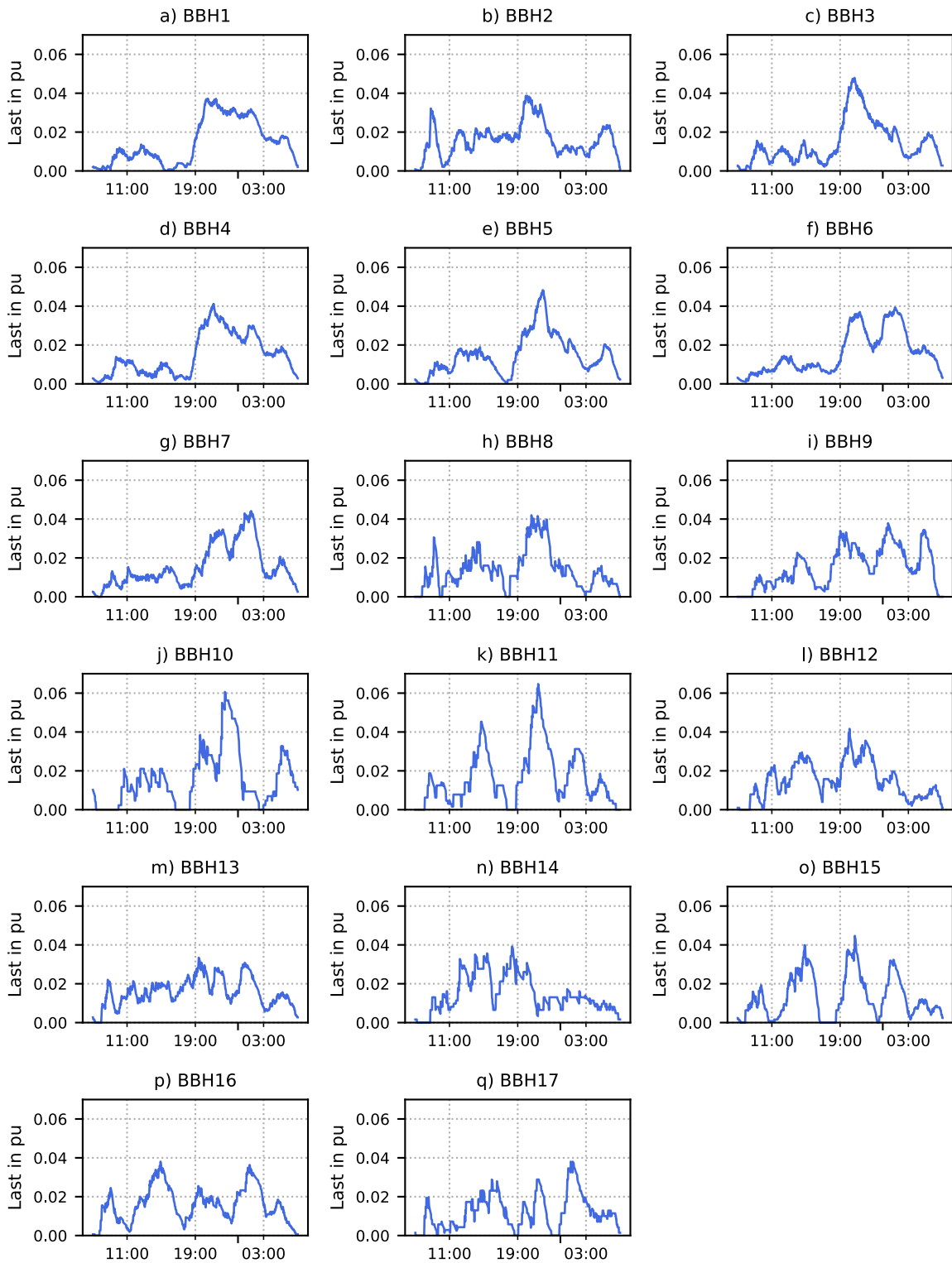


ABBILDUNG 2: NORMALISIERTE LASTPROFILE FÜR EINEN TYPISCHEN WERKTAG FÜR DIE 17 ANALYSIERTEN BBH.

B. Clusteranalyse und synthetisches Lastprofil

Die ABBILDUNG 4 zeigt die Lastprofile, die in die drei genannten Cluster gruppiert sind. Zusätzlich wird für jeden Cluster ein synthetisches Lastprofil als Mittelwert aller in dem Cluster vorhandenen Lastprofile berechnet. Wie zu sehen ist, zeigen die drei Gruppen unterschiedliche Merkmale der Lastprofile. Das erste Cluster scheint eine gleichmäßig verteilte Last zu haben, wobei die Last in den Abend- und

frühen Nachtstunden nur leicht höher ist, im Vergleich zum Rest des Tages. Das zweite Cluster hingegen hat eine deutlich ausgeprägte Tag- und Nachtphase. In der Nacht gibt es deutlich mehr Last auf dem BBH. Das dritte Cluster zeigt mehrere ausgeprägte Lastspitzen, die sich über 24 Stunden erstrecken. Um die offensichtlichen Unterschiede im Lastprofil zu verstehen, ist es notwendig, die Merkmale der BBH und ihrer Umläufe genauer zu betrachten. Es gibt einige

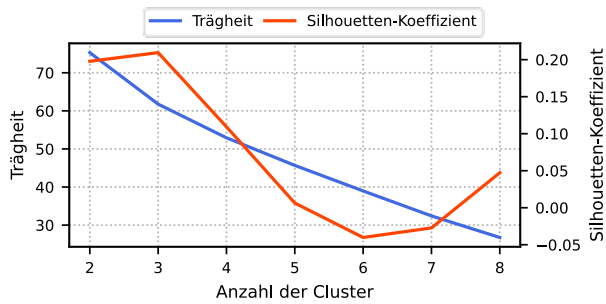


ABBILDUNG 3: TRÄGHEIT (SUMME DER QUADRATISCHEN ABSTÄNDE DER DATENPUNKTE ZU IHREM NÄCHSTEN CLUSTERZENTRUM) UND SILHOUETTEN-KOEFFIZIENT FÜR UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL DER CLUSTER.

sehr offensichtliche Unterschiede. Zum einen enthält das zweite Cluster nur städtische BBH, während die anderen beiden Cluster hauptsächlich aus ländlichen BBH bestehen. Ob ein BBH in einem ländlichen oder städtischen Gebiet liegt, beeinflusst die Umläufe und die Verteilung der Ankünfte und Abfahrten im Laufe des Tages. ABBILDUNG 5 zeigt die Darstellung des Prozentsatzes der Busse, die in jedem der analysierten 24 Stunden zurück zum BBH kommen, und zwar für jeden der Cluster separat. Die Ankünfte spiegeln das Verhalten der Lastprofile in den drei Clustern wider. Im ersten

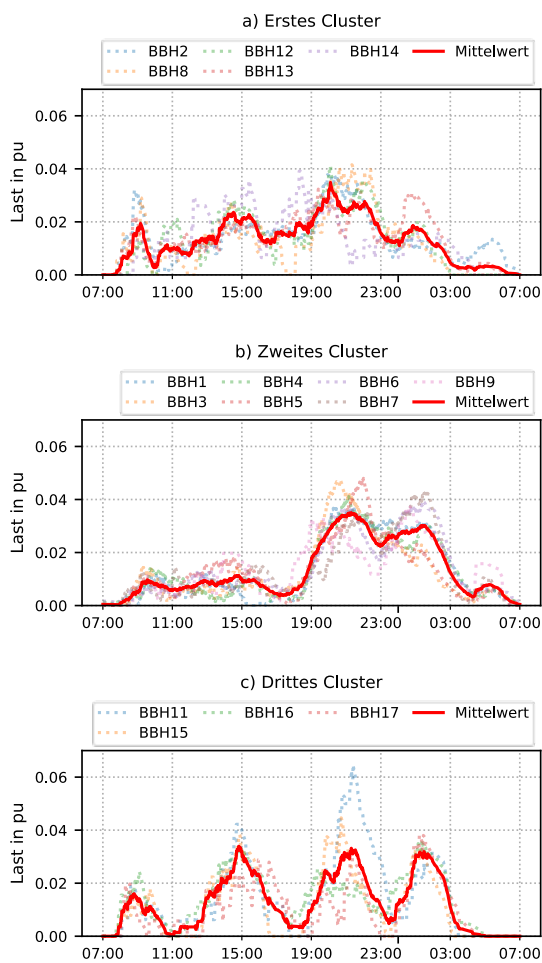


ABBILDUNG 4: DREI LASTPROFIL-CLUSTER MIT DEN ZUGEHÖRIGEN BBH (GESTRICHELTE LINIEN) UND DAS SYNTHETISCHE LASTPROFIL IM JEWELIGEN CLUSTER (ROTE LINIE).

Cluster scheinen die Ankünfte über den Tag gleichmäßig verteilt zu sein, ohne einen bestimmten Trend. Das zweite Cluster hat eine ausgeprägte Tag- und Nachtphase und im dritten Cluster gibt es mehrere offensichtliche Spitzen bei den Ankünften. Daher kann geschlossen werden, dass die Umläufe eine wesentliche Rolle für das Lastprofil von BBH spielen.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

Dieses Paper analysiert synthetische Lastprofile der elektrischen Busbetriebshöfe mit dem Ziel ein tiefgehendes Verständnis der Lastprofile und der Parameter die dieses beeinflussen zu gewinnen. Dies wurde mit einer auf k-Means basierten Clusteranalyse durchgeführt. Die Lastprofile der 17 bestehenden BBH in der Metropolregion Hamburg mit den dazugehörigen Umlaufplänen wurden dabei modelliert und simuliert. Die BBH unterscheiden sich in der Größe, Zusammensetzung der Flotte und ihrem Standort (ländlich und städtisch). Die Analyse der Lastprofile an einem typischen Werktag zeigt, dass die BBH unterschiedliche Formen der Last haben. Die Clusteranalyse konnte drei unterschiedliche Gruppen (Cluster) der BBH identifizieren. Das erste Cluster hat eine gleichmäßige Verteilung der Last während 24 h. Das dritte Cluster hingegen hat mehrere abwechselnde Höhen und Tiefen. Diese zwei Cluster bestehen überwiegend aus ländlichen und kleineren BBH. Das zweite Cluster mit

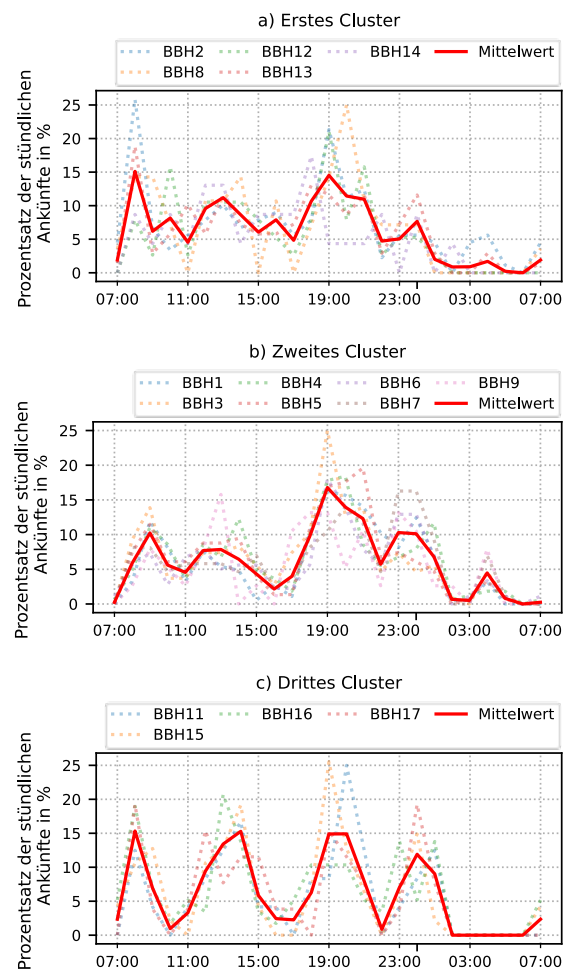


ABBILDUNG 5: PROZENTSATZ DER STÜNDLICHEN ANKÜNFTEN DER BUSSE FÜR DIE BBH IN DEN JEWELIGEN CLUSTERN (GESTRICHELTE LINIEN) UND DER JEWELIGE DURCHSCHNITTLICHE VERLAUF (ROTE LINIE).

ausschließlich städtischen BBH zeigt klare Unterschiede zwischen Tag und Nacht, mit einem bedeutenden Anstieg der Last in den frühen Abendstunden (18:00-20:00 Uhr). Die Analyse der Umläufe, vor allem der Verteilung der Ankünfte auf dem BBH zeigt ein ähnliches Verhalten. Die Natur der drei Cluster kann in den Profilen der Ankünfte wiedererkannt werden. Dies deutet darauf hin, dass die Umläufe, mit ihrer Verteilung der Ankünfte und Abfahrten, einen großen Einfluss auf die Form des Lastprofils der jeweiligen BBH haben.

Für jedes Cluster wurde ein synthetisches Lastprofil als Mittelwert aller Lastprofile in dem jeweiligen Cluster berechnet. Diese können für unterschiedliche Analysen, Optimierungen oder Auslegungen anderer BBH in anderen Städten genutzt werden. Dabei muss beachtet werden, dass die definierten synthetischen Lastprofile für einen typischen Werktag mit der Umgebungstemperatur von 0 °C berechnet wurden. Im Rahmen der künftigen Arbeiten wird die Analyse erweitert, indem der Einfluss unterschiedlicher Tage und Saisons auf das synthetische Lastprofil untersucht wird.

DANKSAGUNG

Diese Forschungsarbeit wird durch dtec.bw –Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr gefördert. dtec.bw wird von der European Union – NextGenerationEU finanziert.

LITERATUR

- [1] K. Zagrajek, J. Paska, M. Klos, K. Pawlak, P. Marchel, M. Bartecka, L. Michalski und P. Terlikowski, „Impact of electric bus charging on distribution substation and local grid in Warsaw,“ *Energies*, Bd. 13, p. 1210, 2020.
- [2] M. Mohamed, H. Farag, N. El-Taweel und M. Ferguson, „Simulation of electric buses on a full transit operational feasibility and grid impact analysis,“ *Electric Power System Research*, Bd. 142, pp. 163-175, 2017.
- [3] K. Alamatsaz, S. Hussain, C. Lai und U. Eicker, „Electric Bus Scheduling and Timetabling, Fast Charging Infrastructure Planning, and Their Impact on the Grid: A Review,“ *Energies*, Bd. 15, Nr. 21, p. 7919, 2022.
- [4] C. Häll, A. Ceder, J. Ekström und N. H. Quttineh, „Adjustments of public transit operations planning process for the use of electric buses,“ *Journal of Intelligent transportation system*, Bd. 23, Nr. 3, pp. 216-230, 2019.
- [5] R. Deng, Y. Liu, W. Chen und H. Liang, „A survey on electric buses - Energy storage, power management, and charging scheduling,“ *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Bd. 22, Nr. 1, pp. 9-22, 2019.
- [6] A. Jahic, F. Heider, M. Plenz und D. Schulz, „Flexibility Quantification and the Potential for its Usage in the Case of Electric Bus Depots with Unidirectional Charging,“ *Energies*, Bd. 15, Nr. 10, p. 3639, 2022.
- [7] I. Lympopoulos, F. A. Qureshi, A. Bitlislioglu, J. Poland, A. Zonarini, M. Mercangoez und C. Jones, „Ancillary Services Provision Utilizing a Network of Fast-Charging Stations for Electric Buses,“ *IEEE Transactions on Smart Grids*, Bd. 11, Nr. 1, pp. 665-672, 2020.
- [8] A. Raab, E. Lauth, K. Strunz und D. Gählich, „Implementation schemes for electric bus fleets at depots with optimized energy procurement in virtual power plant operations,“ *World Electric Vehicle Journal*, Bd. 10, Nr. 5, 2019.
- [9] I. Zoltowska und J. Lin, „Optimal Charging Schedule Planning for Electric Buses using Aggregated Day-Ahead Auction Bids,“ *Energies*, Bd. 14, p. 4727, 2021.
- [10] N. Brinkel, M. Zijlstra, R. van Bezu, T. van Twuijver, I. Lampropoulos und W. van Sark, „A comparative analysis of charging strategies for battery electric buses in wholesale electricity and ancillary services markets,“ *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Bd. 172, p. 103085, 2023.
- [11] Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Energiewirtschaft „Repräsentative VDEW-Lastprofile,“ bdev - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 1 1 2017. [Online]. Available: <https://www.bdev.de/energie/standardlastprofile-strom/>. [Zugriff am 17 10 2023].
- [12] A. Hashemifarzad, M. Faulstich, J. zum Hingst und M. Jokari, „Impact of electromobility on the future standard load profile,“ *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, Bd. 8, Nr. 2, pp. 164-173, 2019.
- [13] J. Przibylla, M. L. Golobart, R. Witzmann und O. Öztas, „Change in standard load profile to date and further changes due to increasing numbers of electric vehicles,“ in *CIREP Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems*, Porto, Portugal, 2022.
- [14] C. Hecht, J. Figgner, X. Li, L. Zhang und D. U. Sauer, „Standard Load Profiles for Electric Vehicle Charging Stations in Germany Based on Representative, Empirical Data,“ *Energies*, Bd. 16, Nr. 6, p. 2619, 2023.
- [15] A. Jahic, M. Eskander und D. Schulz, „Bus Depot Simulator: Steady-State Python and DigSilent Co-simulation for Large-Scale Electric Bus Depots,“ in *NEIS 2019 - Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems*, Hamburg, Germany, 2019.