

Beeinflussung der Übertragbarkeit der Ladeinfrastruktur von Busbetriebshöfen in Hamburg auf andere Städte

Mina Eskander*, Amra Jahic und
Detlef Schulz

*Elektrische Energiesysteme
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr*

D-22043 Hamburg, Holstenhofweg 85
*E-Mail: mina.eskander@hsu-hh.de

Toralf Müller*, Nina Zeun und
Florian Leunig

*Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH
Abteilung für Elektromobilität*

D-21029 Hamburg, Curslackener Neuer Deich 37
*E-Mail: toralf.mueller@vhhbus.de

Jörg Burkhardt*, Heinrich Klingenberg
hySOLUTIONS GmbH

D-20095 Hamburg, Steinstraße 25

*E-mail: joerg.burkhardt@hysolutions-
hamburg.de

Kurzfassung—Busse erzeugen wesentlich weniger Schadstoffe pro Person als Pkw, dennoch sind die Emissionen eines Busses schädlich für die Umwelt. Die Stadt Hamburg hat sich gegenüber der EU-Kommission in Brüssel für die Anschaffung von emissionsfreien Bussen ab dem Jahr 2020 ausgesprochen. Zu diesem Zweck haben die Hamburger Busverkehrsunternehmen Hamburger Hochbahn AG (HOCHBAHN) und die Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH (VHH) mit den Vorbereitungen für einen emissionsfreien Busbetrieb begonnen. Die HOCHBAHN und die VHH haben den Aufbau von elektrischen Busflotten geplant. Dabei stellt der Aufbau einer geeigneten Ladeinfrastruktur die wesentliche Herausforderung dar. Aus diesem Anlass wirkt die Helmut-Schmidt-Universität im Rahmen einer Begleitforschung mit, neue Konzepte für die Ladeinfrastruktur und die Energieversorgung zu erforschen. Zusätzlich ist die Optimierung des Systems durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Faktoren, die ein derartiges System beeinflussen, vorgesehen. Ein wesentlicher Punkt der Auslegung ist die Übertragbarkeit der aufzubauenden Ladeinfrastruktur auf andere Städte. Zudem ist auch eine Sensitivitätsanalyse auszuarbeiten, um das Potenzial einer Standardisierung der Ladeinfrastrukturkonzepte der HOCH-BAHN und der VHH und die möglichen Erweiterungen zu erfassen. Die Ergebnisse der Analyse werden nicht nur dabei unterstützen, das System zu optimieren, sondern können ebenfalls als Blaupause für die Elektrifizierung weiterer Busbetriebshöfe dienen.

Stichwörter—*Elektrobusse, Busbetriebshof, Ladeinfrastruktur, Optimierung, Zuverlässigkeit des Netzes*

I. EINLEITUNG

Zur Reduzierung der Schadstoffemissionen im Straßenverkehr in der Stadt Hamburg hat der Hamburger Senat entschieden, ab 2020 nur noch emissionsfreie Busse zu beschaffen. Aktuell betreiben die Hamburger Hochbahn AG (HOCHBAHN) und die Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein (VHH) als die beiden großen Busbetreiber in Hamburg um die 1100 Dieselbusse. Erste Versuchslinien wurden sowohl mit Wasserstoff-, als auch mit Elektrobussen betrieben. Nach der ersten Testphase haben sich beide Busbetreiber zunächst für die Beschaffung von Elektrobussen entschieden.

Mit der geplanten Anschaffung von Elektrobussen ist eine kompatible Ladeinfrastruktur für diese erforderlich. Die

Energieversorgung für das System ist anspruchsvoll, denn die Bus-Flotten weisen einen hohen Spitzenleistungsbedarf auf. Allerdings gibt es noch Optimierungspotential für die Leistungsbedarfe von Busbetriebshöfen. So konnte z. B. der vorab abgeschätzte Spitzenleistungsbedarf vom geplanten Busbetriebshof Alsterdorf von 7,37 MW auf 5,47 MW gesenkt werden [1]. Eine Reduzierung des Spitzenleistungsbedarfs durch eine zeitliche Verschiebung der Fahrpläne ist unpraktisch. Zusätzlich wäre die redundante Auslegung der Ladeinfrastruktur durch die zweifache Anschaffung der benötigten Komponenten sehr kostenintensiv. Für die Ladeinfrastrukturkonzepte der HOCHBAHN und der VHH wird die Übertragbarkeit dieser auf andere Busbetriebshöfe unter Berücksichtigung lokal abhängiger und unabhängiger Parameter und Rahmenbedingungen untersucht. Hierfür werden Systemkomponenten als (Teil-) Lösungen für definierte Aufgaben zusammengefasst und anschließend auf deren Übertragbarkeit hin bewertet. In Kapitel II wird zunächst ein Literaturüberblick zum Thema Elektromobilität mit Bussen gegeben. Anschließend werden im Kapitel III die zu untersuchenden Konzepte auf den Busbetriebshöfen Altersdorf und Bergedorf vorgestellt und die Zielsetzung der Übertragbarkeitsanalyse definiert. Kapitel IV präsentiert das methodische Vorgehen zur Untersuchung und Bewertung der Übertragbarkeit. Abschließend fasst Kapitel V diesen Beitrag zusammen.

II. LITERATURÜBERBLICK

Das Thema „Übertragbarkeit“ von geeigneten, standardisierten Lösungen wurde im Bereich der Elektromobilität bisher nicht untersucht. Das liegt daran, dass jedes System seine Besonderheiten und eigenen Rahmenbedingungen aufweist und das Thema somit recht komplex ist. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden die auf die Ladeinfrastruktur wirkenden Faktoren identifiziert. In [1] konnten die Autoren sowohl den Gesamtverbrauch als auch die Spitzenleistung des Betriebshofs optimieren. In [2] wird die Berechnung der Zuverlässigkeit für die Leistungselektronik dargestellt. Dabei werden mit dem Zuverlässigkeitsschaltbild, der Fehlerbaumanalyse und der Markow-Analyse drei Verfahren für die Zuverlässigkeitsanalyse vorgestellt. In [3] werden Kriterien der Modularität für einen Busbetriebshof definiert. Dieses Konzept minimiert

die maximale Last des Betriebshofes nach zwei möglichen Prinzipien, wobei entweder der Ladevorgang verschoben oder die Ladekapazität verringert wird. Das kann dazu führen, dass die Elektrobusse den benötigten Ladezustand (State of Charge, SoC) für eine entsprechende Route zeitlich nicht erreichen. In vielen Fällen verhindert ein Mangel an verfügbarer Ladeenergie in der Batterie des Busses, dass die ihm zugewiesene Route vollständig gefahren werden kann. In [4] haben die Autoren sich auf die Parkzeit und die Ladeleistung fokussiert. Dadurch konnte ein Algorithmus zur Optimierung der Ladevorgänge entwickelt werden. In [5] wird die Zuverlässigkeit im Verhältnis zu der Redundanz betrachtet. Dabei wird sowohl eine zentralisierte, als auch eine dezentralisierte Konfiguration der Systeme berücksichtigt, wie beispielsweise der Aufbau einer einzelnen Umrichterstation im Gegensatz zu mehreren, in Ladesäulen verteilten Umrichtern.

III. DARSTELLUNG VERALLGEMEINERBARER PROBLEME

A. Busbetriebshof Alsterdorf und Bergedorf

Der Busbetriebshof Alsterdorf ist schematisch in Abb. 1 dargestellt und besteht aus einem 110 kV Anschluss, der durch 110/20 kV und 20/0,4 kV Transformatoren den 6-Carports-Busbetriebshof versorgt. Um die Zuverlässigkeit des Systems zu erhöhen, ist das lokale Netz zusätzlich mit dem 10 kV U-Bahn Netz verbunden, welches eine Leistung von bis zu 10 MW bereitstellen kann. Die Versorgung vom U-Bahn-Netz dient als Notstromversorgung im Fall eines Stromausfalls. Die Spannungswandlung findet in den integrierten Stromrichtern in den Ladesäulen statt.

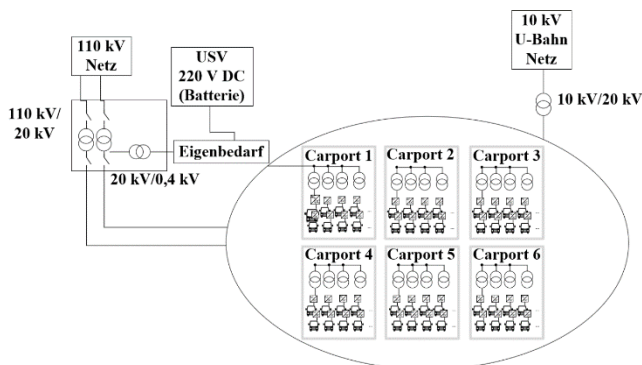


Abbildung 1: Konzept der Ladeinfrastruktur der HOCHBAHN in Alsterdorf

Abb. 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Busbetriebshofs Bergedorf. Dieser besteht aus acht kombinierten Transformator- und Umrichterstationen, die Qualität, Gleichspannungs- und Leistungshöhe zentral und variabel für 16 Ladepunkte regeln. Die 16 Ladepunkte sind auf der Abstellfläche in Form von 8 Doppelladesäulen realisiert. Es können somit 16 Busse pro Station gleichzeitig geladen werden. Die Transformatoren sind miteinander im Ring verschaltet. Ein stationärer Second-Life Batteriespeicher dient dem Peak Shaving und soll eine Leistung von mindestens 600kW liefern können.

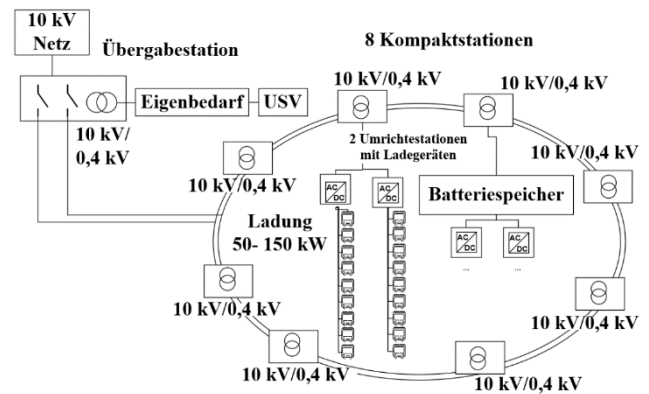


Abbildung 2: Konzept der Ladeinfrastruktur der VHH in Bergedorf

B. Zielsetzung

Im Folgenden wird die Übertragbarkeit der in Hamburg entwickelten Konzepte für elektrifizierte Busbetriebshöfe auf andere Städte definiert. Dabei besteht zukünftig die Möglichkeit der Modularisierung von (Teil-) Lösungen für die Ladeinfrastruktur auf Busbetriebshöfen. Dazu werden mehrere Faktoren untersucht, um das Modell eines Elektrobusbetriebshofes zu standardisieren. Die Übertragbarkeit von diesen standardisierten Konzepten soll anschließend im Vergleich zu einer Neukonzipierung kostengünstiger ausfallen. Bei der Betrachtung der Übertragbarkeit kann zwischen lokal abhängigen und unabhängigen Faktoren unterschieden werden. Lokal unabhängige Faktoren sind z. B. die Spitzenlast, der Energieverbrauch und die Redundanz der Systemkomponenten. Vom Ort abhängige Faktoren sind beispielsweise die Spannungsebene, die Fahrpläne und das Ladekonzept. Das im Projekt geplante Modell wird sich prinzipiell auf die lokal unabhängigen Faktoren fokussieren, die bei jeder Auslegung einer Ladeinfrastruktur für einen Busbetriebshof betrachtet werden sollten. Zu diesem Zweck werden zunächst die zu betrachtenden Systemkomponenten definiert. Wie in Abb. 3 gezeigt, gibt es vier Hauptfaktoren, die die Auslegung der Ladeinfrastruktur beeinflussen. Zunächst sind die Begrenzungen der Bus-Depots entscheidend. Dabei werden die Fläche des Busbetriebshofs, die Anzahl der Busse und die Batteriekapazität betrachtet. Es gibt verschiedene Formen an Parkplatzanordnungen, wie z. B. ein Block-Parkplatz oder eine Fischgräten-Anordnung. Die gewählte Form limitiert die Anzahl der Busse, die auf dem Busbetriebshof gleichzeitig parken und dementsprechend laden können. Weiterhin sind die Begrenzungen der Anschlussleitungen essentiell, denn die Ladeströme sind davon abhängig. Zudem wird die Planung der Fahrstrecken betrachtet. Dadurch werden der zeitliche Aufenthalt des Busses auf dem Depot und die Möglichkeiten des Ladens untersucht. Abschließend wird das Konzept des Ladens untersucht. Generell wird zwischen zentralem Laden auf dem Depot und dezentralem Laden während der Route unterschieden. Im Fall eines zentralen Ladens ist der Aufbau leichter, aber das Lademanagement herausfordernd. Beim dezentralen Laden ist der Aufbau von individuellen Ladesäulen schwieriger, aber die Ladezeit kann durch den Aufenthalt des Busses vor Ort geregelt werden. Die beiden zu untersuchenden Busbetriebshöfe beschränken sich auf ein zentrales Ladekonzept.

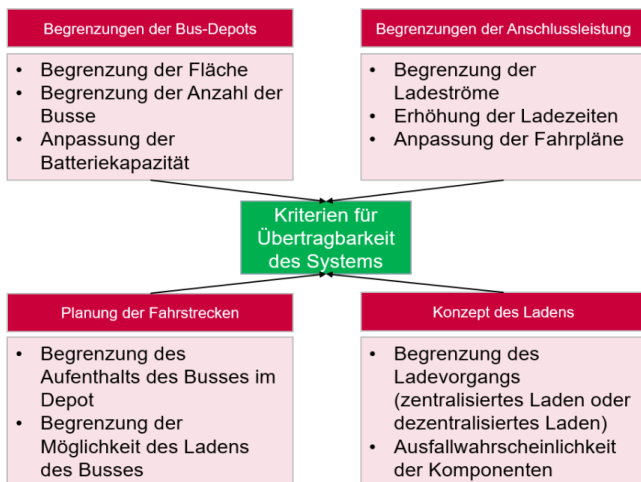


Abbildung 3: Darstellung der Kriterien, die die Übertragbarkeit eines Systems beeinflussen

IV. VORGEHENSWEISE

HOCHBAHN und VHH haben sich beide zunächst für Solo- und Gelenkbusse entschieden. Grundsätzlich benötigen die Elektrobusse je nach Jahreszeit eine sich ändernde Heiz- bzw. Kühlleistung für den Bus. Der Verbrauch ist von der Umgebungstemperatur abhängig. Deshalb sind unterschiedliche Verbrauchsprofile für die Elektrobusse vorhanden [6]. Für die Betrachtung aller die Übertragbarkeit beeinflussenden Faktoren wird ein Simulationsmodell geplant. Damit wird der Prozess der Auslegung eines neuen Busbetriebshofs für Elektrobusse teilweise standardisiert. Das Modell wird sowohl die heute bereits berücksichtigten Faktoren, wie die Fahrstrecken und die Lastprofile, als auch die mit den Elektrobusen neu hinzukommenden Faktoren, wie die Ausfallraten der Ladeinfrastruktur und die verfügbare Anschlussleistung, betrachten. Dadurch wird die Übertragbarkeit des aufgebauten Modells in Hamburg auf andere Städte untersucht. Die Freiheitsgrade des Modells sind die Anzahl der möglichen Fahrgäste, die benötigte Batteriekapazität und das Ladeprofil.

Der Ladeprozess eines Busses ist von mehreren Faktoren abhängig. Der erste Schritt ist die Identifizierung dieser Faktoren. Dazu gehört auch die Feststellung der gegenseitigen Abhängigkeiten voneinander. Hierfür ist die Berücksichtigung unterschiedlicher Jahreszeiten von großer Bedeutung, insbesondere für die Berechnung der Heiz- bzw. der Kühllast der Busse. Diese Last muss zusätzlich über die Batterie gedeckt werden. Eine Analyse hat den elektrischen Gesamtbedarf eines Busbetriebshofs auf zwischen 4.4 MW für kleine Busbetriebshöfe, die bis 40 Elektrobusse bedienen können und 16.6 MW für große Busbetriebshöfe, die bis 240 Elektrobusse bedienen können, abgeschätzt [3]. Der Energiebedarf ist insbesondere von den Größen des Busses abhängig. Es wird hierbei zwischen Solo-, Gelenk- und Doppelgelenkbus unterschieden.

Aus diesem Anlass wird nach dem Modellaufbau in einem zweiten Schritt eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die Sensitivitätsanalyse beschäftigt sich mit der Fragestellung, wie die Änderung einzelner Parameter sich auf das Gesamtergebnis auswirkt. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten zur zukünftigen Erweiterung des Systems. Zu der Erweiterungsplanung gehören einerseits die Erhöhung der Busanzahl und andererseits die gezielte Optimierung der Ladeinfrastruktur. Der Optimierungsprozess der Ladeinfra-

struktur wird sich auf die Optimierung der Komponenten des Systems beziehen. Dadurch wird betrachtet, ob die Komponenten der Ladeinfrastruktur kleiner dimensioniert werden können oder ob der Busbetriebshof zukünftig mehr Busse bedienen kann.

Die Feststellung der Übertragbarkeit eines Systems ist von vielen Faktoren abhängig, die über die zu übertragenden Teilkonzepte bzw. Konzepte entscheiden. Um das System bzw. das Teilsystem in einem ersten Schritt zu bewerten, ist die Feststellung der Zuverlässigkeit jeder Komponente essentiell. Damit kann entschieden werden, ob diese als Standard in den zukünftigen Modellen eingebracht werden können. Die Bewertung der Zuverlässigkeit der Komponenten beginnt bei den Ladepunkten und reicht über die nachfolgenden Systemkomponenten bis zum Netzanschluss. Darüber hinaus werden andere Faktoren, wie die Anordnung und die Fläche des Ladebereichs, die Anzahl der Busse, die Fahrleistung pro Bus, die Übertragbarkeit der Software und die Spannungsebene der Ladeinfrastruktur, untersucht.

Des Weiteren wird ein Algorithmus entwickelt, der eine Verteilung für die wahrscheinlichsten Fehler berechnen kann. Dabei werden die Systeme bzw. Teilsysteme zusammengefasst, deren Fehler gleich sind. Die Bewertung des Systems hinsichtlich der Zuverlässigkeit erfolgt nach der Methodik in Abb. 4.

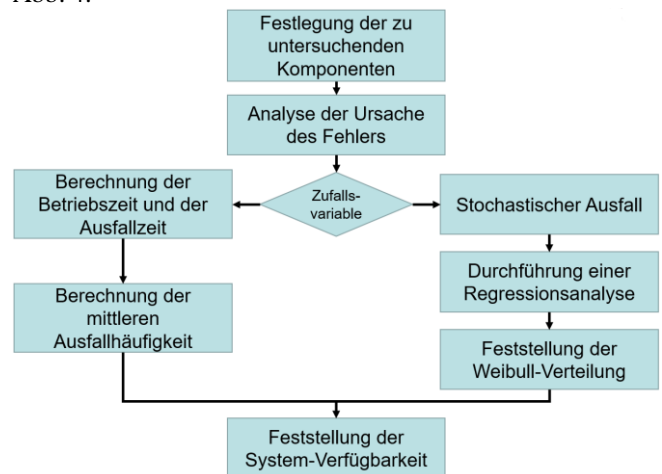


Abbildung 4: Blockschaltdiagramm für die Feststellung der Zuverlässigkeit des Systems [7]

A. Zuverlässigkeitsschaltdiagramm

Das Zuverlässigkeitsschaltdiagramm basiert auf der grafischen Darstellung der Abhängigkeiten der System-Komponenten zueinander. Die Blöcke sind entweder seriell oder parallel verschaltet.

1) Serielle Verschaltung

Die serielle Verschaltung von einzelnen Komponenten ist für die Darstellung der Komponenten ohne eine Redundanz zuständig. R_S ist die Gesamtzuverlässigkeit des Systems bzw. des Teilsystems, R_I ist die Zuverlässigkeit der einzelnen Komponenten innerhalb der seriellen Verschaltung.

$$R_S = \prod_{I=1}^N R_I \quad (I)$$

2) Parallele Verschaltung

Die parallele Verschaltung stellt die Redundanz einer Komponente dar. R_p stellt dabei die Gesamtzuverlässigkeit des Systems bzw. des Teilsystems mit den parallel verschalteten, einzelnen Komponenten R_i dar.

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - R_i) \quad (\text{II})$$

Abb. 5 zeigt das Zuverlässigkeitsschaltbild der Ladeinfrastruktur in Alsterdorf. In diesem Beispiel wird nur die Zuverlässigkeit eines Teilsystems betrachtet. Das System besteht aus zwei 110/20 kV Transformatoren, die das Netz redundant bedienen. Daran ist das 20 kV-Netz angeschlossen [7]. Durch das Ringsystem gibt es vier Transformatoren pro Carport, die die Energie aus der 20 kV-Ebene auf die 0,4 kV-Ebene wandeln. Der Wandler, der in der Ladesäule integriert ist, versorgt den Bus mit dem DC-Strom. Sobald ein Fehler in einer Ladesäule auftritt, werden andere Ladesäulen häufiger genutzt, wodurch diese überlastet werden können.

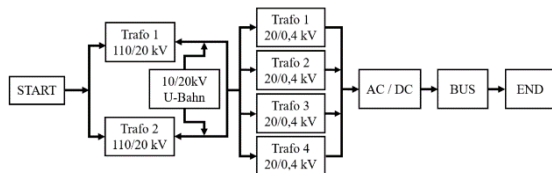


Abbildung 5: Zuverlässigkeitsschaltbild einer Ladesäule in Alsterdorf für die Feststellung der Zuverlässigkeit des Systems

B. Fehlerbaumanalyse

Die Fehlerbaumanalyse ist ein Berechnungsverfahren, um die Zuverlässigkeit einer Ladesäule bzw. eines Ladevorgangs zu bestimmen. Das Verfahren verwendet das Prinzip der Negativ-Logik. Hierbei drückt ein Zustand logisch-1 einen Ausfall aus. Dementsprechend stellt ein logisch-0 ein funktionsfähiges System dar. Diese Analyse wird als Top-Ereignis bezeichnet, da das Ergebnis der Analyse die höchste Systemebene ist, welche den Gesamtausfall des Systems beschreibt. Wie in Abb. 6 gezeigt, wird die Fehlerbaumanalyse durch Logikgatter realisiert. Ein UND-Gatter ist getriggert, wenn alle Eingangsgrößen auftreten und ein ODER-Gatter ist getriggert, wenn eine der Eingangsgrößen auftritt [8]. Die Fehlerbaumanalyse hat den Vorteil gegenüber der Zuverlässigkeitsschaltbild-Analyse, dass alle menschlichen Faktoren und Hardware-Fehlerursachen berücksichtigt werden können.

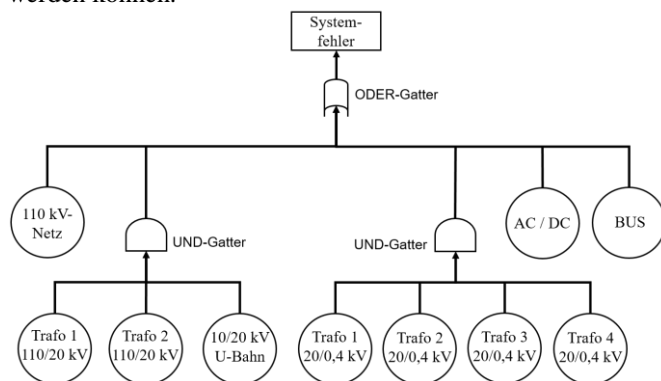


Abbildung 6: Fehlerbaumanalyse einer Ladesäule in Alsterdorf für die Feststellung der Ausfallwahrscheinlichkeit des Systems

Aus diesem Grund werden die eigentliche Planung der Ladeinfrastruktur und die Optimierung dieser betrachtet, indem die Kosten der Ladeinfrastruktur möglichst minimiert werden. Neben den Kosten bezieht sich der Optimierungsprozess ebenfalls auch auf die Bedarfsdeckung der Busflotten hinsichtlich elektrischer Energie.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Untersuchungen ist es, die Übertragbarkeit von Ladeinfrastrukturkonzepten für Busbetriebshöfe anhand der Konzepte der HOCHBAHN und der VHH festzustellen. Hier ist insbesondere interessant, unter welchen Rand- und Rahmenbedingungen eine Übertragbarkeit von standardisierten Teillösungen möglich ist. Dafür müssen die Systeme hinsichtlich unterschiedlicher Faktoren bewertet werden. Die Zuverlässigkeit eines Systems spielt eine besondere Rolle bei der Bewertung derartiger Systeme. In diesem Beitrag werden die Konzepte der Busbetriebshöfe Alsterdorf und Bergedorf vorgestellt. Dabei wird auch ein erster Überblick über die Übertragbarkeit eines Ladeinfrastrukturkonzeptes eines Busbetriebshofes präsentiert. Dazu gehört ebenfalls der Aufbau eines Ausfallsicherheitsmodells für die Komponenten einer Ladeinfrastruktur. In einem nachfolgenden Schritt werden die die Verfügbarkeit eines Systems beeinflussenden Faktoren analysiert. Dies schließt eine Betrachtung der Redundanz im Verhältnis zu den Systemkosten ein.

Standardisierte und übertragbare Konzepte im Bereich der Ladeinfrastruktur für Busbetriebshöfe können zukünftig viel Zeit und Kosten für Busbetreiber einsparen. Tatsächlich hat jedes System seine Besonderheiten, aber der Aufwand der neuen Auslegung wird durch die Übertragbarkeit verallgemeinerbarer (Teil-) Lösungen geringer. Hierdurch profitieren Busbetreiber anderer Städte von den Erfahrungen von HOCHBAHN und VHH. Die Standardisierung des Entwurfsprozesses wird es ermöglichen, den Aufbau bzw. die Umrüstung der Busbetriebshöfe für Elektrobusse zu beschleunigen.

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).

VI. LITERATUR

- [1] 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, p. 1748, 2019.
- [2] H. Wang, M. Liserre, F. Blaabjerg, P. d. P. Rimmen, J. B. Jacobsen, T. Kvisgaard und J. Landkildehus, „Transitioning to Physics-of-Failure as a Reliability Driver in Power Electronics,“ *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Bd. 1, Nr. 2, pp. 97-114, 2014.
- [3] L. Haffner, M. Schumann, M. Dietmannsberger und D. Schulz, „Evaluation of Modular Infrastructure Concepts for Large-Scaled Electric Bus Depots,“ in *2nd E-Mobility Power System Integration Symposium*, Stockholm, Sweden, 2018.
- [4] M. Alonso, H. Amaris, J. Gardy Germain und J. Manuel Galan, „Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart,“ *Energies*, Nr. 7, pp. 2449-2475, 2014.

- [5] B. Nström, L. Autrin, N. Ankarbäck und E. Nilsson, „Fault tree analysis of an aircraft electric power supply system to electrical actuators,“ in *9th International conference on probabilistic methods applied to power systems*, Stockholm, Sweden, 2006.
- [6] M. Dietmannsberger, M. Meyer, M. Schumann und D. Schulz, Metastudie - Anforderungen an das Stromnetz durch Elektromobilität, insbesondere Elektrobusse, in Hamburg, Hamburg, Germany: Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg, 2016.
- [7] J.-F. Moon, J.-C. Kim und H.-T. Lee, „Time-varying failure rate extraction in electric power distribution equipment,“ in *9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, KTH, Stockholm, Sweden, 2006.
- [8] A. Gharahasanlou, A. Mokhtarei, A. Khodayarei und M. Ataei, „Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoy cement factory in Iran,“ *Elsevier Ltd.*, pp. 33-38, 2014.
- [9] R. Hönighaus, „EU-Wettbewerbsaufsicht genehmigt staatliche Förderung von 70 Mio. Euro für Elektrobusse in Deutschland,“ 26 Februar 2018. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/germany/news/20180226-eu-wettbewerbsaufsicht-elektrobusse_de. [Zugriff am 22 Mai 2019].