

KoLa – Koordinierungsfunktion des Verteilnetzes und Lastmanagement für den elektrifizierten Personenverkehr

Sören Clausen*

Emissionsfreie Antriebe (T-P)
Hamburger Hochbahn AG
Hamburg, Deutschland
*soeren.clausen@hochbahn.de

Arne Dammasch*

Digitalisierung und Netz (ST-AM-IM-DN)
Stromnetz Hamburg GmbH
Hamburg, Deutschland
*arne.dammasch@stromnetz-hamburg.de

Kurzfassung – Verkehrsunternehmen in Deutschland stellen schrittweise ihre Dieselbus-Flotten auf emissionsfreie Antriebe um. Der gesellschaftliche Konsens zur Dekarbonisierung des Verkehrs öffnet insbesondere im ÖPNV somit neue Chancen für eine intelligente Kopplung der beiden Sektoren Mobilität und Stromnetz.

Die Ladung der E-Busse bei ÖPNV-Betreibern erfolgt aktuell zumeist über ein Lademanagement, das die verfügbare Stromleistung anhand interner, betrieblicher Kriterien (Ladezustand, Disposition, Einsatzzeitpunkt etc.) auf die verschiedenen Busse verteilt. Dabei sind diese technischen Systeme derzeit vornehmlich darauf ausgelegt eine robuste und zuverlässige Ladung sicherzustellen. Eine Optimierung des Lastmanagements bezüglich des aktuellen Zustands des Versorgungsnetzes der Stromnetz Hamburg GmbH (SNH) und der Strombeschaffung wurde bislang bei Verkehrsunternehmen nicht vorgenommen. Im Rahmen des KoLa-Projektes sollen nun die Potenziale des zeitlich flexiblen Strombezugs zur Ladung der E-Busse der HOCHBAHN auf dem Betriebshof in Alsterdorf untersucht werden. Durch die Entwicklung einer Koordinierungsfunktion (KOF) auf Verteilnetzebene kann durch die SNH gleichzeitig sichergestellt werden, dass trotz des flexiblen Strombezugs die Netzstabilität im Verteilnetz gewährleistet und der Netzausbau minimiert wird.

Stichworte – Verteilnetzebene, Koordinierungsfunktion, Sektorenkopplung, Optimierungssystem, Lastmanagement, Elektromobilität

NOMENKLATUR

AP	Arbeitspaket
BB	Busbetriebshof
BMS	Betriebshof-Managementsystem
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
FSB	Fernsteuerungsbenutzer
HOCHBAHN	Hamburger Hochbahn AG
HSU	Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg
KOF	Koordinierungsfunktion

KoLa	Koordinierungsfunktion des Verteilnetzes und Lastmanagement für den elektrifizierten Personenverkehr
LMS	Lademanagementsystem
MsbG	Messstellenbetriebsgesetz
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
SNH	Stromnetz Hamburg GmbH
TUHH	Technische Universität Hamburg
VNB	Verteilnetzbetreiber

I. EINLEITUNG

Als städtische Unternehmen sind die HOCHBAHN und die SNH entscheidende Partner zur Erreichung der Hamburger Klimaziele. Gemeinsam mit der Stadt Hamburg versteht sich insbesondere die HOCHBAHN als Vorreiter der Elektrifizierung von Busflotten im ÖPNV. Seit 2017 wird die systematische und ganzheitliche Umstellung des Bussystems vorangetrieben und seit 2020 werden keine Dieselbusse mehr beschafft [1]. Aktuell sind ca. 1.100 Linienbusse im Einsatz, davon bereits über 100 batterieelektrische Busse. Demgegenüber beschäftigt sich die SNH, neben den originären Aufgaben eines Verteilnetzbetreibers (VNB), mit der Entwicklung und dem Einsatz innovativer Mechanismen und Instrumente, um den zukünftigen Herausforderungen (Ladeinfrastruktur, Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)-Einspeisung, etc.) im Verteilnetz begegnen zu können.

A. Wahl der Technologie

Die HOCHBAHN hat aus den verfügbaren Technologien zur emissionsfreien Mobilität das System der batterieelektrischen Busse in Verbindung mit dem Depotladen als vornehmliche Strategie ausgewählt. Ausschlaggebend dafür waren insbesondere die hohe technologische Reife, die große Anzahl geeigneter Hersteller, ein Mindestmaß an betrieblicher Komplexität sowie die Tatsache, dass die notwendige Ladeinfrastruktur unabhängig von städtischen Belangen auf den Betriebshöfen errichtet werden kann. Gelegenheitsladung und Wasserstoff werden bei Bedarf (z.B. zu geringe Reichweiten) als strategische Ergänzung umgesetzt.

B. Anforderungen an das betrieblich-technische System

Der Betrieb von Elektrobussen ist im Vergleich mit Dieselbussen vermehrten (technischen) Limitierungen

ausgesetzt. Die Anforderungen an einen robusten und zuverlässigen Busbetrieb sind aus diesem Grund umfangreicher und müssen gesamthaft bei der Implementierung berücksichtigt werden. Die Neuartigkeit der Komponenten erschwert diese Integration zusätzlich.

C. Begrenzte Reichweiten batterieelektrischer Busse

Die verfügbaren Reichweiten bei Batteriebussen haben sich in den letzten Jahren positiv entwickelt. Im Jahr 2018 lag das Angebot für 12 m Standardbusse bei 150 km. Mittlerweile stehen Busse mit 270 km zur Verfügung, Tendenz steigend in den kommenden Jahren [2]. Problematisch ist die Lage noch bei Gelenkbussen. Hier liegen die Reichweiten noch niedriger, obwohl die betrieblichen Anforderungen höher sind.

II. RAHMENBEDINGUNGEN

Die derzeitigen Rahmenbedingungen bei der Ladung der elektrischen Busse bieten eine Flexibilität zur zeitlichen Verschiebung der Ladevorgänge. Diese Flexibilität kann genutzt werden, um ökonomische und ökologische Potenziale zu erschließen. Das aktuelle Lastmanagement-System der HOCHBAHN berücksichtigt für die Verteilung der Ladeleistung nur Anforderungen, die sich aus dem Busbetrieb ergeben. Um die Stabilität des Verteilnetzes nicht zu gefährden, soll die lokale Netzrestriktion über die Koordinierungsfunktion im Lastmanagement-System Berücksichtigung finden.

Darüber hinaus sollen die aktuellen und prognostizierten Spotmarktdaten ins System integriert werden, um einen finanziellen Mehrwert im Betrieb quantifizieren und bewerten zu können.

Ziel des Projektes ist daher die Entwicklung und Erprobung einer Koordinierungsfunktion, eines Lastmanagement-Systems und der dazu gehörigen Prozesse zur Berücksichtigung von externen Einflussfaktoren, wie aktuelle Strommarktdaten und lokaler Netzzustände, auf die Lastmanagement-Steuerung eines Busbetriebshofes der HOCHBAHN.

III. PROJEKTBETEILIGTE

Um die Zusammenarbeit von Hamburger Unternehmen und Universitäten zu steigern, werden die HOCHBAHN, SNH, sowie die Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg (HSU) und die Technische Universität Hamburg (TUHH) im Rahmen des Projektes gebündelt. Dabei wird die Rolle Hamburger Unternehmen im Bereich der E-Mobilität gestärkt und das Projekt durch das technische Knowhow der Universitäten unterstützt.

Die HOCHBAHN vertritt dabei als Vorreiter der Elektrifizierung von Busflotten im ÖPNV die Rolle der zentralen Koordination zwischen den Projektpartnern und übernimmt die Definition, Entwicklung und Implementierung der neuen Funktionen und Systeme.

Die SNH als Verteilnetzbetreiber entwickelt und betreibt seit 2014 das IT-System zur Steuerung von Ladestationen und ist darüber hinaus zuständig für das Thema Netzsicherheit. Die SNH erarbeitet im Projekt das funktionale System einer KOF und bringt zudem das Knowhow als Backend-Betreiber der Ladeinfrastruktur mit ein.

Die HSU hat umfangreiche Kompetenzen u. a. im Bereich Elektromobilität, Netzimpedanzmessung, Netzberechnungen und Integration erneuerbarer Energiespeicher. Im Projekt

erfolgt durch die HSU die wissenschaftliche Beratung und Methodenentwicklung, die Simulation und Laboreprobung des Gesamtsystemabbildes und die Erfassung und Auswertung von Realversuch-Messdaten.

Die TUHH verfügt über umfangreiche Kenntnisse und Werkzeuge zur Modellierung und Simulation ganzheitlicher Energiesysteme und steuert im Projekt die Analyse- und Prognoseverfahren zum Netzzustand und zur Netzengpasserkennung im Rahmen der KOF-Entwicklung mit bei. Darüber hinaus erfolgt durch die TUHH der Test der KOF in einem Hardware-in-the-Loop-Aufbau.

IV. ZIELSETZUNGEN

Im Rahmen der Projektdefinition wurden Anforderungen an das Projekt bezogen auf die Bestandssysteme auf dem Busbetriebshof sowie an das angeschlossene Netz und seine Stabilität definiert. Diese Definition umfasst eine Vielzahl von Zielen, die für den Projekterfolg notwendig und für die Übersicht gruppiert sind.

Die Ziele können in drei Hauptkategorien bzw. Oberziele kategorisiert werden: *Flexibilitätspotential*, *minimierter Netzausbau* und *Übertragbarkeit*. Darüber hinaus wurden ebenfalls explizite Nicht-Ziele definiert, um das Projekt in seinem Umfang abzugrenzen.

Das Ziel *Flexibilitätspotential* beschreibt auf oberster Ebene die Nutzbarmachung der auf dem Betriebshof Alsterdorf vorhandenen Flexibilität hinsichtlich der zeitlichen Variabilität der Ladevorgänge der Elektrobusse. Darüber hinaus soll durch die Optimierung des Strombezuges des E-Bussystems eine Senkung der Energiebezugskosten unter Berücksichtigung der Anforderungen des Stromnetzes erreicht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es eines Optimierungssystems auf Lastmanagement-Ebene auf dem Busbetriebshof. Im Rahmen des Projektes muss dieses System konzeptioniert, entwickelt und final in die Bestandssysteme der HOCHBAHN integriert werden. Mit Hilfe des Optimierungssystems wird es möglich sein, die Prognosegüte über den zukünftigen Strombezug für die Ladevorgänge der Fahrzeuge zu optimieren. Um den Strombezug aus dem öffentlichen Netz zu minimieren und zu optimieren, wird im Projekt die Errichtung eines stationären 2nd Life Batteriespeichers bewertet, analysiert und entsprechend durchgeführt.

Die zweite Hauptkategorie der Projektziele wird unter dem Begriff des *minimierten Netzausbaus* zusammengefasst. Darunter ist hinsichtlich des Verteilnetzes die Vorgabe zu verstehen, dass physische Änderungen im Netz mittels technologischer und systemischer Innovationen auf ein sinnvolles Maß begrenzt werden, um finanzielle Aufwendungen zu reduzieren. Gleichwohl ist darauf zu achten, dass bei allen Anforderungen an das Netz dessen Stabilität zu jedem Zeitpunkt gewährleistet bleibt. Die zu entwickelnde KOF ist im Rahmen dieser Zieloberkategorie angesiedelt. Für die Funktion des Systems bedarf es einer standardisierten Kommunikation zwischen der KOF, dem Lastmanagement und den entsprechenden Energiemarktdaten. Gleichzeitig werden lokale Netzzustände identifiziert und mit den Anfragen anderer im Netz befindlicher Lasten abgeglichen. Dabei ist fortwährend der steuernde Eingriff des zuständigen VNB – hier die SNH – in den Betrieb der Anlagen auf Seiten der HOCHBAHN gegeben.

Um die im Rahmen des Projektes gewonnenen Erkenntnisse und erarbeiteten Systeme auf andere Busbetriebshöfe ebenfalls anwenden zu können, wurden in der Kategorie *Übertragbarkeit*, Ziele definiert, die dies ermöglichen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die notwendigen Anpassungen an zukünftigen Busbetriebshöfen minimal sind.

Die Projektdefinition brachte darüber hinaus zur Abgrenzung des Projektes auch explizite Nicht-Ziele hervor. Dazu zählt zu einen, dass das Projekt nicht das Ziel verfolgen wird, Systemdienstleistungen (u. A. Netzfrequenzhaltung, Spannungshaltung oder Versorgungswiederaufbau) zu erbringen. Zum anderen zählt zu diesen Nicht-Zielen, dass das Projekt die sonstigen Energiebedarfe auf dem Busbetriebshof, wie z. B. Werkstätten oder dort befindliche Verwaltungsgebäude nicht mitberücksichtigt wird.

V. FLEXIBILITÄTSPOTENZIAL

Um bei flexiblem Strombezug gleichzeitig die Netzstabilität zu gewährleisten, wird eine neue Funktion für das Lastmanagement entwickelt (wie in ABBILDUNG 1 aufgezeigt).

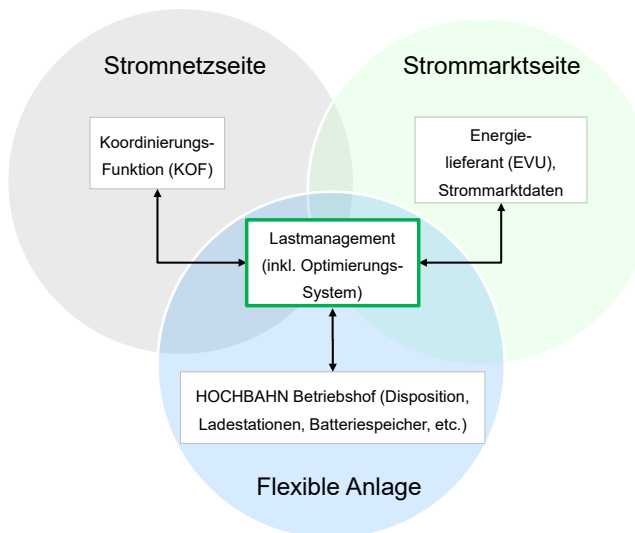


ABBILDUNG 1: KOORDINIERUNGSFUNKTION DES VERTEILNETZES UND LASTMANAGEMENT FÜR DEN ELEKTRIFIZIERTEN PERSONENVERKEHR.

Diese neue Funktion wird praktisch erprobt werden, sodass die Ladung der E-Busse auch anhand von externen Stellgrößen (stromnetzseitige Kriterien - bspw. Netzauslastung und strommarktseitige Kriterien - bspw. Strommarktpreise) optimiert und zeitlich verschoben werden kann. Durch diese zeitliche Verschiebung der Busladevorgänge bzw. der Nutzung des Flexibilitätspotentials, lässt sich der Strombezug für die Ladung der Busse anhand von bspw. ökologischen (bspw. lediglich grün erzeugter Strombezug) oder ökonomischen (bspw. preiswerter Strombezug) Kriterien optimieren.

Gleichzeitig wird im Rahmen des hier vorliegenden Projekts von der SNH auf Netzseite die KOF entwickelt und praktisch erprobt. Dieses System stellt sicher, dass eine Verschiebung der Ladevorgänge im Einklang mit den aktuellen netzseitigen Anforderungen erfolgt und die Netzstabilität gewährleistet bleibt. Somit ermöglicht die KOF den flexiblen und effizienten Strombezug von elektrischen

Energieanlagen bei gleichzeitiger Netzstabilität, wodurch der im Zuge der Energiewende notwendige Netzausbau minimiert werden kann.

Mit diesem Ansatz soll sichergestellt werden, dass das vorhandene Flexibilitätspotential bei E-Bussen mehrfach genutzt werden kann: Zum einen zur Optimierung des Strombezugs und zum anderen zur Verbesserung der Betriebsstabilität des Stromnetzes.

VI. SYSTEMLANDSCHAFT

Im Folgenden wird die zu errichtende Systemlandschaft erläutert, so wie diese final im Rahmen des Projektes geplant ist und zukünftig mit den vorhandenen Systemen auf dem Busbetriebshof kombiniert wird.

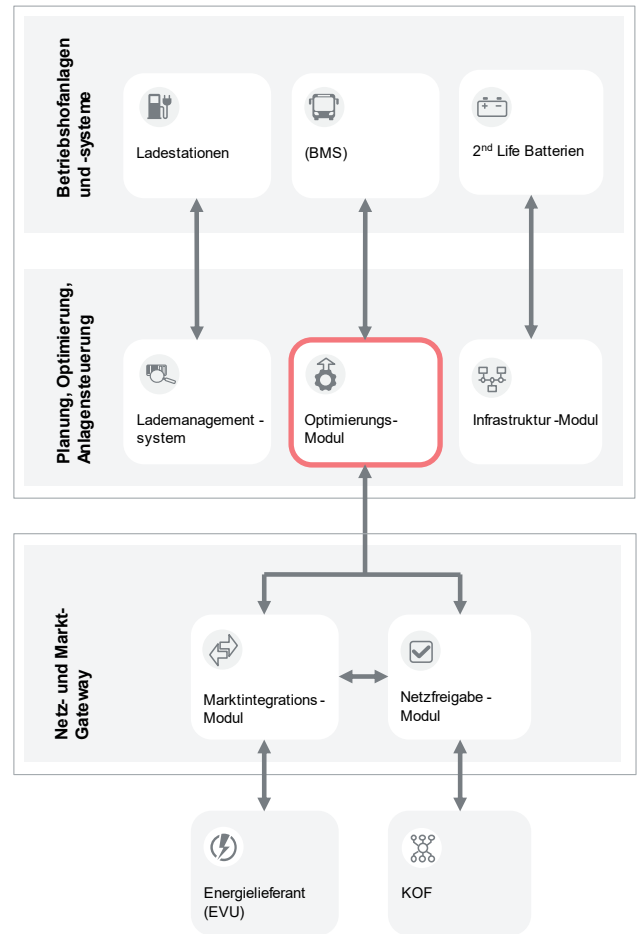


ABBILDUNG 2: DAS OPTIMIERUNGSMODUL IN DER GESAMTSYSTEMLANDSCHAFT.

Auf dem Betriebshof sind derzeit für die Ladung der im Einsatz befindlichen E-Busse bereits Ladestationen und zugehörige Lademanagementsysteme installiert. Zukünftig wird auf dem Betriebshof zusätzlich der Batteriespeicher aufgestellt. Dieser kommuniziert direkt mit dem in der Anlagensteuerung befindlichen Infrastrukturmodul. Das ebenfalls dort angesiedelte Optimierungsmodul wird als Modul des Betriebshof-Managementsystem (BMS) geplant und tauscht direkt Daten mit diesem aus. Innerhalb des Netz- und Marktgateways befinden sich das Marktintegrationsmodul und das Netzfreibgabemodul. Hierdurch werden dem Gesamtsystem die Marktdaten zugeführt und Anforderungen vom Netzbetreiber mitgeteilt.

Der Betriebshof ist an das öffentliche Netz angeschlossen und hat mit dem Marktintegrationsmodul eine direkte Schnittstelle zu dem Energieversorgungsunternehmen. Die KOF ist mit ihren Funktionen an die Systeme des Betriebshofes über das Netzfriegabemodul innerhalb des Netz- und Marktgateways angebunden.

VII. KOORDINIERUNGSFUNKTION

Wie eingangs erwähnt werden zukünftig mehr flexibel steuerbare energietechnische Anlagen in das Stromnetz integriert. Dies betrifft sowohl elektrische Lasten als auch Erzeugungsanlagen und stationäre Batteriespeicher. Insbesondere im Bereich der Mobilität ist im urbanen Raum mit einer stark ansteigenden Zahl von batterieelektrischen Fahrzeugen zu rechnen. Infolgedessen steigt auch die Anzahl der auf Verteilnetzebene integrierten Ladeinfrastruktur stark an [3]. Mit diesen Entwicklungen sieht sich das elektrische Verteilnetz zukünftig mit hohen, teils nicht vorhersehbaren Leistungsänderungsgradienten, sprich unkoordinierten Flexibilitäten, konfrontiert. Eine Nutzung dieser Flexibilitäten durch Dritte, sogenannte Fernsteuerungsbenutzer (FSB), mit dem Ziel einer marktlichen Optimierung der Lastgang-Fahrpläne, kann sich schlimmstenfalls negativ auf die lokale Netzstabilität auswirken. Bei einer Vielzahl von zeitgleichen Steuerungseingriffen innerhalb eines Netzgebietes müssen diese Handlungen daher koordiniert, d.h. aufgenommen, analysiert, bewertet und freigegeben oder abgelehnt werden. Diese Handlungen bilden die Grundfunktionalität einer Koordinierungsfunktion auf Verteilnetzebene.

Zur Erreichung der o. g. Ziele wird erstmalig eine KOF als eigenständiges und funktionales System entwickelt und aufgebaut. Das System wird modular aufgebaut und aus einer Datenbank, einem Netzengpassprognose- und Regelwerkverwaltungsmodul, sowie einem Hauptmodul für die Koordination, die Administration und den Service & Betrieb bestehen. Zudem erfolgt eine kommunikationstechnische Anbindung an die einzelnen externen Systeme wie z. B. an eine Netzengpassanalyse, eine netzspezifische Regelwerksverwaltung sowie eine Schnittstelle für die Fahrplanübermittlung von Fernsteuerungsbenutzern.

Für eine funktionierende Koordination ist die KOF darauf angewiesen, dass sie auf feste Regeln für die Bewertung von Steuerungshandlungen in den jeweiligen Netzgebieten der Anschlussnetzbetreiber zurückgreifen kann. Dies wird über das sogenannte Regelwerk in der KOF abgebildet. Dem Regelwerk sind zum einen fixe Grenzwerte zu entnehmen, anhand derer entschieden wird, ob ein Fahrplan ohne weitere Prüfung angenommen oder abgelehnt wird. So führt beispielsweise eine Überschreitung eines Maximalwertes stets zu einer Ablehnung und die Unterschreitung eines Minimalwertes stets zu einer ungeprüften Annahme. In einem Bereich zwischen diesen beiden Schwellwerten muss die Anfrage spezifisch bewertet und an den zuständigen Anschlussnetzbetreiber gegeben werden. Eine vom Anschlussnetzbetreiber durchzuführende Netzanalyse gibt Gewissheit, wie die Koordinierungsfunktion mit der Fahrplananfrage final umzugehen hat. Ein generisches Konzept für die KOF ist der ABBILDUNG 3 zu entnehmen.

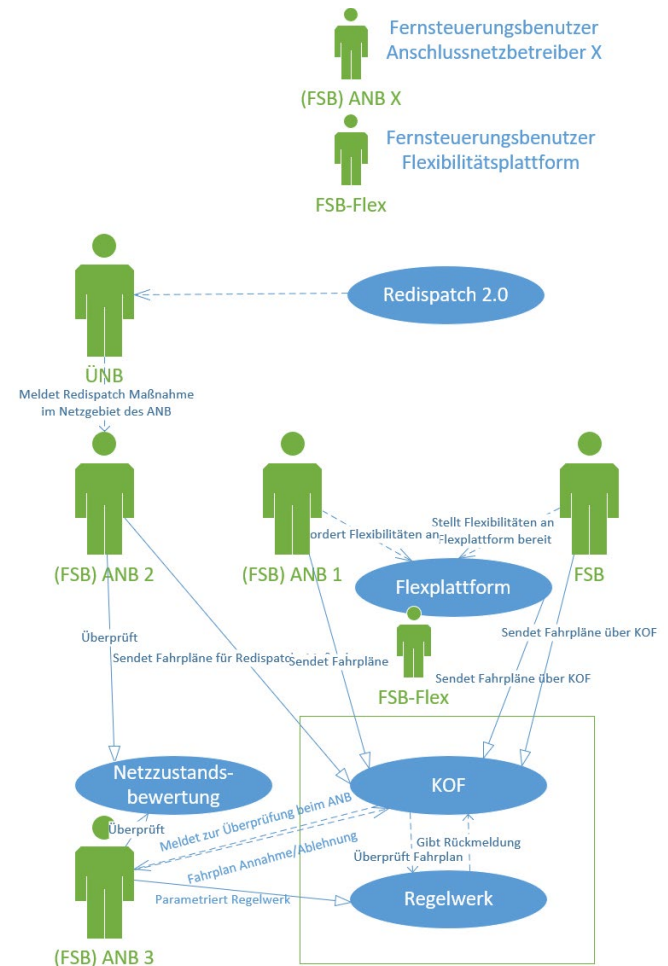


ABBILDUNG 3: GENERISCHES KONZEPT EINER KOF AUF BETRIEBSEBENE.

Für das Parametrieren eines Regelwerkes wird eine Netzrestriktionsanalyse im Projekt im Rahmen einer computergestützten Simulation von der TUHH abgebildet. Anhand dieser Simulation werden feste Handlungsempfehlungen für das Regelwerk der KOF für das Hamburger Verteilnetz abgeleitet. Dies geschieht im Detail durch die Betrachtung von verschiedenen Netzauslastungsszenarien sowie Sensitivitätsanalysen und Stress-Tests im Allgemeinen. Zum anderen wird eine Netzengpassanalyse modelliert, welche eine Netzanalyse und eine situative Handlungsempfehlung, auf Grundlage eines bei der KOF eingegangenen und nicht eindeutig anhand des festen Regelwerkes bewertbaren Fahrplans liefert. Für die Realisierung der Netzanalysen wird ebenfalls auf Netzdaten der SNH zurückgegriffen.

Entgegen jeglicher Planung und Koordination von Steuerungshandlungen, kann es durch unvorhergesehene Entwicklungen und/oder technische Ausfälle trotzdem zu netzkritischen Situationen kommen. Für derartige Fälle muss der Netzbetreiber in der Lage sein, Maßnahmen in seinem Netzgebiet durchführen zu können. Zukünftig kann dies auch vermehrt durch den steuernden Eingriff flexibler energietechnischer Anlagen erfolgen. Ebenfalls in der Rolle eines FSB muss der Anschlussnetzbetreiber mit der KOF interagieren und seine Schaltheilung bekannt machen. Dies muss jedoch mit dem Zusatz der höchsten Priorität geschehen, sodass die KOF jegliche weitere Steuerungshandlungen, die aufgrund von Preis- bzw. Marktoptimierungsaspekten

angefragt werden, dem Notbefehl des Netzbetreibers unterordnet.

Hierzu wird das Regelwerkmanagement durch eine eindeutige Prioritätenverwaltung von Steuerungshandlungen erweitert. Zudem wird eine Schnittstelle zwischen Anschlussnetzbetreiber und KOF etabliert, welche einerseits Notfallschalthandlungen entgegennimmt und andererseits rückmeldefähig ist, damit der Anschlussnetzbetreiber Gewissheit über die entsprechende Umsetzung bzw. erfolgreiche Priorisierung erlangt.

Für die Fahrplan-Kommunikation zwischen dem Optimierungssystem auf Lastmanagement-Ebene und der KOF wird ein Netz-Gateway-Modul entwickelt. Dieses übermittelt zum einen den zu prüfenden Fahrplan an die KOF und nimmt zugleich die Antwort entgegen. Im Falle einer Ablehnung durch die KOF wird diese Rückmeldung dem Optimierungssystem übergeben. Für die Datenkommunikation zu einem potenziellen Partner für Strommarktdaten wird ein Strommarkt-Gateway-Modul entwickelt. Eine Darstellung der Einbettung der einzelnen Module in das Gesamtsystem ist in der ABBILDUNG 2 im vorangegangenen Kapitel VI Systemlandschaft aufgeführt.

Notwendige Randbedingungen für einen derartigen Systemaufbau lassen sich zum einen aus dem FNN-Hinweis *Koordinierungsfunktion auf Betriebsebene* ableiten [4]. Zudem müssen diverse Regelwerke wie beispielsweise die Technischen Anschlussregeln des VDE beachtet werden. Weiter geben diverse Inhalte aus dem *Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)*, *Messstellenbetriebsgesetz (MsbG)* und teils dem *Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)* einen Rahmen für z.B. Priorisierungen von Schalthandlungen des Anschlussnetzbetreibers vor. Insbesondere die Entwicklung bezgl. einer Novellierung des § 14a EnWG – zum Ansteuern von flexiblen Lasten in der Niederspannung – ist während der Projektlaufzeit von besonderer Bedeutung. Ebenso die Entwicklungen zum Thema Redispatch und den Pflichteinbau von *intelligenten Messsystemen (iMSys)* müssen während des Projektes stets betrachtet werden.

VIII. HERAUSFORDERUNGEN

Das Projekt KoLa birgt durch seine Vielschichtigkeit eine Mehrzahl von Herausforderungen mit sich.

Der ÖPNV stellt die Anforderung des fortlaufenden und uneingeschränkten Betriebs. Gleichfalls müssen die zu entwickelnden und zu installierenden Systeme in die vorhandene Systemlandschaft der HOCHBAHN integriert werden. Dies birgt die besondere Herausforderung, dass die Implementierung der neuen Systeme im laufenden Betrieb erfolgen muss.

Gleichzeitig besteht ein technisches Risiko aufgrund der hohen Komplexität der eingesetzten Verfahren. Der Einsatz der verschiedenen Optimierungsalgorithmen birgt die Gefahr von konkurrierenden Optimierungsgrößen. In der initial Projektanlaufphase ist das betriebliche Flexibilitätspotential nicht bestimmbar und damit ist der finanzielle Einfluss der Stellgröße ebenfalls nicht zu beziffern.

Die interdisziplinäre Arbeit in dem Projekt KoLa erfordert ein zusätzliches Maß in Form eines Verwaltungsaufwandes. Durch das Zusammenspiel eines Verkehrsunternehmens, eines VNB und zwei Beteiligten aus dem Bereich der Forschung ergeben sich Schnittstellen innerhalb der Projektarbeit, die etabliert und in Stand gehalten werden müssen.

IX. DANKSAGUNG

Diese Arbeit beschreibt das Projekt „KoLa – Koordinierungsfunktion des Verteilnetzes und Lastmanagement für den elektrifizierten Personenverkehr“ und wird vom *Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz* unter der Förderkennziffer 01MV22005A gefördert.

LITERATUR

- [1] „E-Busse für Hamburg,“ [Online]. Available: www.hochbahn.de/de/projekte/e-busse-fuer-hamburg. [Zugriff am 15. August 2022]
- [2] „Elektrobus MAN Lion’s City E: Premiere in München“ [Online]. Available: <https://www.smarterworld.de/smart-energy/smart-mobility/elektrobus-man-lion-s-city-e-premiere-in-muenchen.178421.html>. [Zugriff am 02.09.2022]
- [3] Dietmannsberger, M.; Meyer, M. F.; Schumann, M.; Schulz, D. (Hrsg.): *Metastudie Elektromobilität – Anforderungen an das Stromnetz durch Elektromobilität, insbesondere Elektrobusse*, in Hamburg; Hamburg; 2016.
- [4] Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN), KOF Koordinierungsfunktion auf Betriebsebene, FNN-Hinweis, Berlin, 2018.