

# Chargé de façon optimale dans la voiture

Comment la gestion automatisée du chargement d'IVU garantit des données actuelles sur les véhicules et une portée sûre

Dipl.-Ing. Simon Müller, Berlin; Dr.-Ing. Matthias Rogge, Aachen

L'état de charge cible, l'heure de départ, l'âge de la batterie, la prestation totale disponible, les bornes de recharge prêtes à l'emploi ainsi que les coûts énergétiques : Les entreprises de transport doivent tenir compte de nombreux aspects dans la planification du chargement. Chaque véhicule et chaque dépôt a besoin de la bonne stratégie de chargement. Cela vaut également pour les bus électriques de Duisbourg, que la Duisburger Verkehrsgesellschaft exploite avec le système intégré de gestion de la charge et du chargement d'IVU.

Depuis le 1er mars 2022, la Duisburger Verkehrsgesellschaft AG (DVG) utilise sept bus électriques articulés et exploite ainsi l'ensemble de la ligne 934 à l'aide de batteries électriques [1]. L'utilisation de ces bus électriques respectueux de l'environnement permet d'économiser chaque année environ 1.000 tonnes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) tout en assurant une réduction significative des émissions polluantes et sonores dans la ville. Ce dernier point a été l'une des raisons pour lesquelles la DVG a décidé d'électrifier le transport par bus sur la ligne 934. Comme on le sait, la ligne de bus traverse le centre-ville depuis le dépôt Unkelstein jusqu'à la Sechs-Seen-Platte au sud de Duisbourg et passe donc par des quartiers considérés comme exposés au bruit et à la pollution de l'air et qui devraient donc particulièrement profiter de l'amélioration directe de la qualité de l'air [1].

Pour la transposition de l'exploitation de la ligne 934 sur des bus électriques, la DVG reçoit des subventions du ministère fédéral de l'environnement et de l'autorité de transport Rhin-Ruhr (VRR) [2]. La filiale de Daimler, EvoBus GmbH, a fourni les sept bus électriques articulés de type eCita-ro nécessaires à cet effet. La capacité totale requise de 330 kWh se compose de dix modules de batteries haute tension de la dernière génération de batteries lithium-ion (NMC2) avec une densité énergétique accrue [2]. EvoBus intervient également dans le projet en tant qu'entrepreneur général responsable sur le plan technique et commercial et se charge, avec ses partenaires et sous-traitants, des véhicules, de la gestion du chargement et de la périphérie, y compris de la technique de charge.

Pendant l'exploitation, les véhicules peuvent être rechargés à l'aide d'un pantographe placé à l'avant du véhicule sur l'infrastructure de chargement de SBRS GmbH (Schaltbau Refurbishment Systems) au dépôt DVG Unkelstein [2]. Les temps de battement à l'arrêt final "Betr. Am Unkelstein" sont utilisés pour des chargements intermédiaires sur deux chargeurs rapides de 450 kW installés sur un mât en T (illustration 1) à l'extérieur du dépôt [3]. En outre, la SBRS a installé sept chargeurs fixes avec des capots de contact et une prestation maximale de 150 kW dans la salle de stationnement pour la mise en place de nuit.



*Figure 1 : Charge occasionnelle de deux EvoBus eCitaro G sur les chargeurs rapides de 450 kW [1] (Photo : DVG)*

Pour le suivi et le contrôle des processus de chargement, la DVG utilise le système de gestion de la charge et du chargement d'IVU Traffic Technologies AG (IVU) [4], [5]. Le système logiciel permet de générer automatiquement des plans de chargement adaptés aux besoins en fonction de l'heure de départ et de contrôler l'infrastructure de chargement au moyen de phases de chargement Smart Charging. Le préconditionnement en temps voulu de l'habitacle et les limites de charge sont également pris en compte dans le calcul du plan de chargement [5]. De plus, le système de gestion de la charge (LMS) est relié à l'interface de données Daimler Buses. Ainsi, les responsables de planning de la DVG peuvent surveiller en temps réel toutes les données importantes des véhicules, telles que l'état de charge et la portée restante, directement dans le système logiciel via le Daimler Buses Cloud [4].

## Système de gestion du chargement pour exploiter les bus

La gestion de la charge et du chargement d'IVU comprend des fonctions sélectionnées du système de gestion de dépôt intégré pour les bus électriques et est donc spécialement adaptée à l'exploitation des bus. En interaction avec le module de calcul du plan de chargement, les phases de chargement sont définies et transmises aux chargeurs via le protocole Open Charge Point Protocol (OCPP). Outre la charge de la batterie, il est également possible de planifier des phases pour l'alimentation des consommateurs auxiliaires, l'équilibrage des batteries et le préconditionnement.

Lors de la planification de la charge, la priorité absolue est de satisfaire aux directives d'exploitation de la DVG, et donc de garantir un fonctionnement stable. La figure 2 illustre les différentes étapes de

la planification de la charge, de la détermination des directives d'exploitation à l'optimisation des phases de chargement.

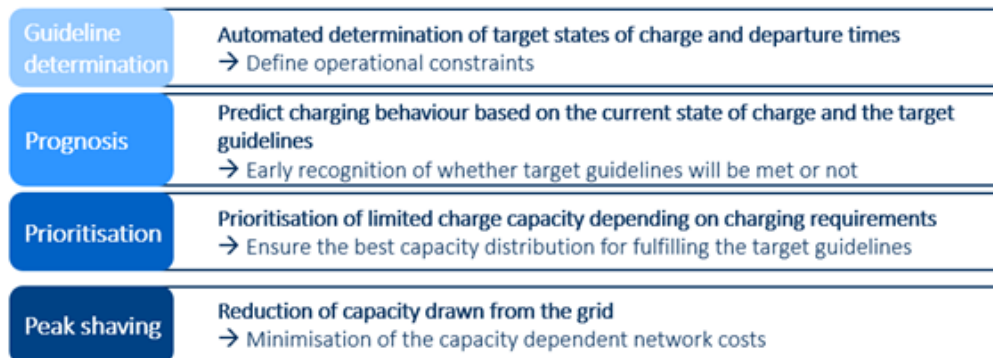


Figure 2 : Fonctionnalités du Smart Charging (graphique : IVU)

Les principaux garde-fous dans la planification de la charge sont les directives d'exploitation sous la forme d'un état de charge cible et d'une heure de départ. Dans la pratique, il n'est pas possible qu'un utilisateur définisse manuellement les valeurs cibles pour chaque processus de chargement. Au lieu de cela, un processus automatisé est nécessaire. Trois solutions différentes, qui se distinguent par leur degré de détail, ont été mises en œuvre à cet effet dans le système de gestion du chargement d'IVU. Un ensemble de règles définit les directives des objectifs de charge, qui peuvent être définies en fonction du point de charge, du véhicule et de la période de début de charge. Au lieu de l'ensemble de règles, il est également possible de connecter un pré-système (par ex. un système de gestion de dépôt ou un centre de commande) via l'interface VDV-463, qui transmet les valeurs cibles. La variante la plus confortable est rendue possible par l'utilisation du système intégré de gestion des dépôts de bus électriques (eBMS), qui détermine l'état de charge cible et l'heure de départ sur la base de la charge actuelle de l'infrastructure et des voitures prévues [6].

L'étape suivante consiste à utiliser des modèles techniques de l'infrastructure et de la batterie du véhicule pour représenter le comportement de charge. Dès cette étape, il est possible de savoir si le véhicule en question peut atteindre l'état de charge cible planifié à l'heure prévue et quelle prestation est nécessaire à cet effet. Il convient de noter que le comportement de charge n'est en aucun cas linéaire et peut varier fortement en fonction du type de batterie. Il convient également de tenir compte de l'état actuel de vieillissement de la batterie.

## Respect des limites de prestation

A Duisburg, le raccordement au réseau et l'infrastructure d'alimentation électrique en aval sont conçus de telle sorte qu'ils offrent déjà des réserves pour l'extension de la flotte de bus électriques. Tous les chargeurs actuellement installés pourraient utiliser simultanément leur prestation maximale sans surcharger le raccordement au réseau. Si cela ne devait plus être le cas dans le cadre de l'extension ultérieure, la fonctionnalité de priorisation du système de gestion du chargement interviendrait. Afin de maximiser la stabilité opérationnelle, la prestation est attribuée en priorité aux véhicules qui ont les besoins de charge les plus élevés. Les véhicules qui s'arrêtent aux points de recharge rapide en cours de journée sont ainsi plus prioritaires que les véhicules présents en même temps au stationnement et qui ne seront remis en service que le lendemain.

En plus des limites de prestation statiques qui résultent du dimensionnement de l'infrastructure, des limites de prestation dynamiques peuvent être définies dans le système de gestion du chargement d'IVU. Cela offre le potentiel de réduire la prestation prélevée sur le réseau et d'économiser ainsi des frais de réseau (utilisation atypique du réseau), en particulier dans les créneaux horaires à forte charge.

## Réduire les coûts grâce au Peak Shaving

L'objectif premier du système de gestion du chargement est de garantir un fonctionnement stable. Il existe toutefois d'autres potentiels d'optimisation qui peuvent influencer positivement la situation des coûts. Un point central est la fonctionnalité Peak Shaving. Ce terme désigne la possibilité de lisser les pics de charge. Cela se fait par un décalage temporel des phases de chargement et par une réduction de la prestation de charge. L'énergie nécessaire au chargement des bus électriques doit donc être prélevée le plus régulièrement possible sur le réseau - car plus la prestation de pointe appelée est faible, plus les frais de réseau liés à la prestation sont bas. La valeur moyenne sur 15 minutes de la prestation à la connexion au réseau est déterminante et détermine la facture d'électricité de l'année entière. Les effets secondaires positifs sont la réduction des pertes et la préservation des batteries des véhicules [7].

## Surveillance des chargements et de l'exploitation des bus électriques

Une fois le système de gestion de la charge et du chargement installé et configuré en conséquence, peu d'interventions manuelles sont nécessaires. Dès qu'un véhicule se connecte à un point de charge, le système de gestion du chargement calcule automatiquement un plan de chargement adapté en fonction de la capacité actuelle de la batterie, des paramètres cibles et des conditions générales. Les phases de charge Smart Charging définies dans le plan de chargement sont transmises par OCPP au chargeur qui les met en œuvre lors du chargement du véhicule.

A l'aide du moniteur de points de charge d'IVU (voir illustration 3), le personnel technique de l'infrastructure de chargement de la DVG peut surveiller à tout moment les chargements actifs. Le moniteur de points de charge indique la disponibilité des points de charge, les interruptions de communication ou les erreurs des chargeurs. Pendant une charge active, il est possible d'afficher le véhicule connecté et des détails sur l'état de charge actuel de la batterie en pourcentage ainsi que d'autres valeurs de prestation. Ces valeurs de prestation sont enregistrées pour chaque processus de chargement et peuvent ensuite être exportées sous forme de statistiques.

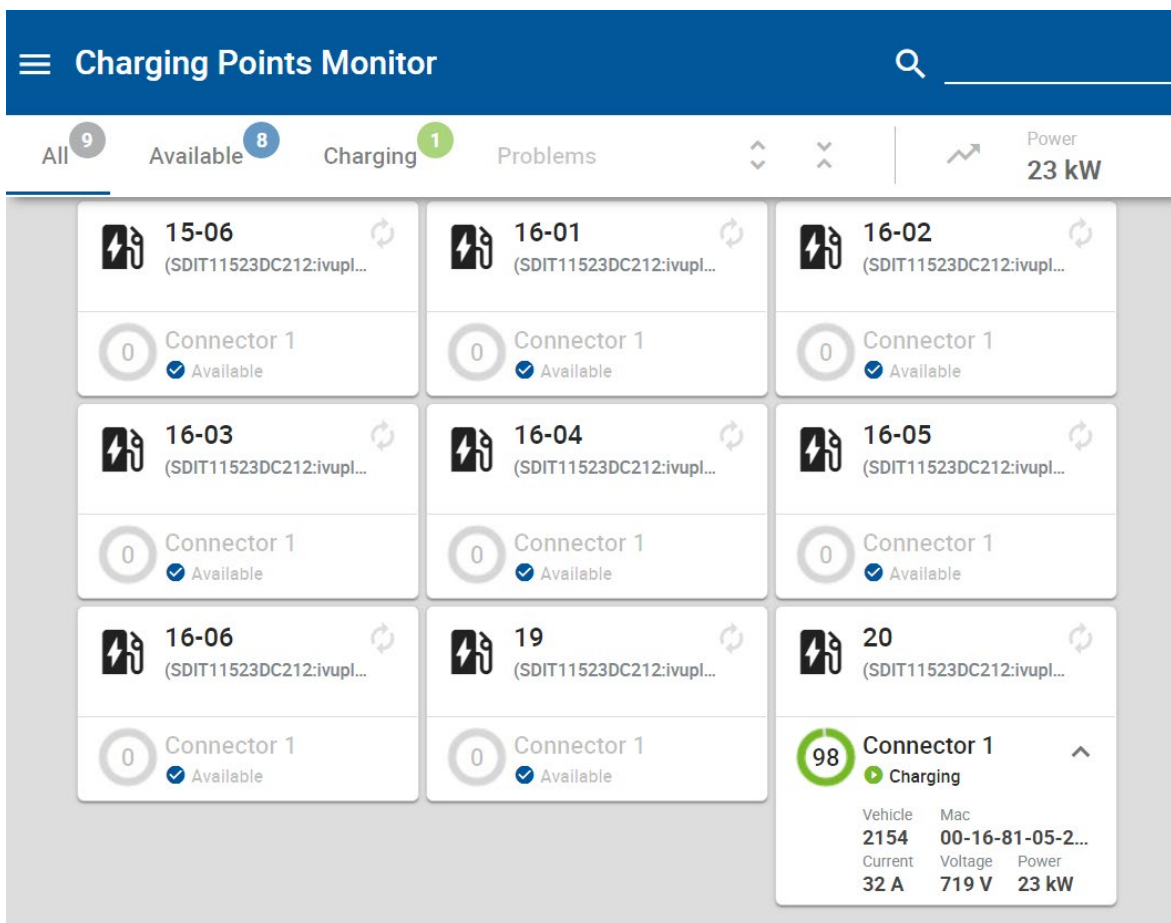


Figure 3 : Moniteur de points de charge d'IVU : vue technique de la surveillance des chargements actifs (image : IVU)

Si la connexion est interrompue ou si une erreur de chargement est signalée, les responsables peuvent être informés par courriel ou SMS grâce à ces alertes. Souvent, les pannes simples peuvent être résolues par un OCPP Soft Reset initié à distance dans le moniteur de points de charge, ce qui permet d'éviter d'aller dépanner le chargeur.

Lorsque les véhicules sont en service régulier sur le tronçon, les valeurs caractéristiques importantes du bus électrique - comme l'état de charge actuel de la batterie et la portée restante - sont représentées dans un tableau clair. Les valeurs caractéristiques sont importées en temps réel du Daimler Buses Cloud dans le système IVU local. Ces informations peuvent être triées et filtrées en fonction de l'utilisation prévue. Grâce à une coloration configurable des données du véhicule, les états de charge critiques sont rapidement identifiés.

## Déroulement du projet de gestion du chargement

Alors que le projet global a débuté dès la fin de l'année 2020 - y compris la fabrication des véhicules et la construction de l'infrastructure de chargement - le sous-projet d'introduction du système de gestion du chargement n'a démarré qu'au printemps 2021. Afin de gagner du temps lors de la mise en service, l'IVU et SBRS ont effectué les premiers tests de chargement à distance dès juin 2021. Il s'agissait de s'assurer que le cryptage, les certificats et la communication OCPP étaient correctement implémentés afin de mettre en œuvre les plans de chargement par défaut et les plans de chargement Smart Charging du système de gestion du chargement de manière appropriée. Après l'installation du système de gestion du chargement dans l'environnement serveur de la DVG, les interfaces avec SBRS et Evobus ont été configurées. Ainsi, dès l'automne 2021, les conditions étaient réunies



pour que le système de gestion du chargement soit opérationnel dès l'achèvement de l'infrastructure de chargement et la livraison des sept eCitaros.

En raison de problèmes de livraison dus à la pandémie chez un fabricant externe de l'installation de commutation moyenne tension, la phase de test intégrée globale de l'interaction entre les véhicules, l'infrastructure de chargement et le système de gestion du chargement a dû être considérablement raccourcie. Malgré cela, toutes les entreprises impliquées ont réussi à respecter la date de lancement prévue pour l'électrification complète du bus 934, à savoir le 1er mars 2022. Ce déroulement rapide et sans accroc du projet d'introduction du système de gestion du chargement est notamment dû à l'étroite collaboration et au bon partenariat entre la société EvoBus GmbH, qui intervient ici en tant qu'entrepreneur général, et l'IVU. Des projets similaires profiteront de l'expérience acquise ici et pourront être menés à bien encore plus rapidement à l'avenir.

## Opportunités futures

Même pour les flottes de bus électriques de taille modeste, il est judicieux d'implémenter dès le départ une gestion de la charge et du chargement riche en fonctionnalités. Avec un système de gestion du chargement comme base, les entreprises de transport sont prêtes à poursuivre l'électrification de leur flotte de bus et à se rapprocher de l'objectif d'un transport à faibles émissions. Le choix du constructeur de véhicules et d'infrastructures de chargement reste flexible. Même une exploitation mixte de bus diesel, électriques à batterie et à hydrogène ne pose aucun problème. La prise en compte d'autres dépôts et terminaux avec de nouvelles infrastructures de chargement ne nécessite qu'une extension de la configuration du système de gestion du chargement des véhicules et peut être réalisée en peu de temps.

Grâce à l'approche intégrée du système de gestion de la charge et du chargement d'IVU, il est en outre facile d'ajouter d'autres modules de bus électriques à IVU.suite, comme par exemple l'optimisation de voiture des bus électriques ou le système de gestion des dépôts. L'interaction harmonisée entre la gestion du dépôt et la gestion du chargement permet d'automatiser les attributions véhicule - voiture en se basant non seulement sur le type et les attributs des véhicules, mais aussi sur les conditions du dépôt et de la place de stationnement. Lors de la détermination des attributions appropriées, il est également possible de tenir compte de la capacité restante de la batterie, des besoins énergétiques de la voiture suivante et des différentes limites de prestation de l'infrastructure de chargement. En outre, les objectifs de charge peuvent être adaptés avec précision aux voitures de course suivantes. Ceci est également possible dans des conditions marginales variables qui nécessitent des mesures d'organisation à court terme. Grâce aux informations opérationnelles supplémentaires, la gestion du chargement peut répartir ou réserver des charges plus judicieusement afin de pouvoir coordonner des plans de chargement optimaux dans tous les dépôts.

La gestion de la charge et du chargement d'IVU constitue donc un point de départ idéal et rapide pour l'électrification des flottes de bus. Grâce à la flexibilité et à la compatibilité étendue de la solution, elle offre un grand potentiel pour l'extension future de la flotte de bus électriques et de l'infrastructure de chargement. Le système de gestion du chargement aide ainsi directement les entreprises de transport à prendre le virage de la mobilité vers des transports urbains plus respectueux de l'environnement et favorise l'utilisation de véhicules qui contribuent largement à réduire le niveau de bruit et les émissions de polluants dans les villes, les rendant ainsi plus agréables à vivre.

## Concernant les auteurs



Après ses études en sciences des transports, Simon Müller a travaillé comme agent scientifique à l'Université technique de Berlin dans le domaine de l'aviation et de l'interaction homme-machine. Depuis début 2019, il travaille comme chef de projet chez IVU Traffic Technologies AG. En tant qu'expert en électromobilité, il est notamment impliqué dans des projets d'introduction de systèmes de chargement et de gestion de dépôts ou d'optimisation de voiture des bus électriques. Il a notamment pris en charge la direction de projet d'IVU dans le cadre du projet d'introduction de la gestion de la charge et du chargement pour les bus électriques de la Duisburger Verkehrsgesellschaft AG, décrit dans l'article.



Matthias Rogge, l'un des directeurs d'EBS ebus solutions GmbH, développe avec son équipe de développeurs de logiciels et d'ingénieurs des modules de prévision des besoins énergétiques et de planification de la charge. Intégrés dans le système complet IVU.suite, ces modules veillent à ce que les bus électriques soient chargés avec ménagement, de manière fiable et rentable. Depuis 2015 déjà, il conseille, avec ebusplan GmbH, une équipe d'experts en bus électriques, des entreprises de transport dans toute l'Europe lors de la transition vers des bus électriques. Dans le cadre de sa thèse de doctorat à l'Université technique d'Aix-la-Chapelle (RWTH), il a auparavant effectué des recherches pendant plus de cinq ans dans le domaine de la technique des systèmes de batteries pour les bus électriques et a établi un processus assisté par logiciel pour la conception des systèmes.

## Littérature

- [1] <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/aktuell/elektrolinie-934>, 29.03.2022 um 15:42
- [2] <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/news/pressemitteilungen/detailseite/dvg-bestellt-sieben-elektrobuse-buslinie-934-wird-2021-komplett-elektrifiziert>, 29.03.2022 um 15:43
- [3] <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/news/pressemitteilungen/detailseite/sauber-und-leise-dvg-startet-erste-rein-elektrische-buslinie-934>, 29.03.2022 um 15:44
- [4] <https://www.nahverkehrspraxis.de/e-busse-samt-ladeinfrastruktur-von-daimler-buses-fuer-die-dvg/>, 29.03.2022 um 15:44
- [5] <https://www.ivu.de/aktuelles/details/automatisiertes-lademanagement-fuer-die-dvg>, 29.03.2022 um 15:45
- [6] T. Franke und C. Hein, „Elektromobilität ganzheitlich denken,“ *Der Nahverkehr*, vol. 10, 2021.
- [7] P. Sinhuber, „Zusammenspiel zwischen Lademanagement und Batterialterung,“ *Der Nahverkehr*, vol. 5, 2022.