

Carga óptima en las tareas

La gestión de carga automatizada de IVU garantiza datos actuales de los vehículos y autonomías seguras

Ing. Dipl. Simon Müller, Berlín; Dr. Ing. Matthias Rogge, Aquisgrán

Estado de carga objetivo, hora de partida, edad de la batería, rendimiento total disponible, estaciones de carga operativas y costes energéticos: las empresas de transporte deben tener en cuenta numerosos aspectos en la planificación de la carga. Cada vehículo y cada depósito requiere la estrategia de carga correcta. Esto también se aplica a los autobuses eléctricos de Duisburgo, que opera la compañía Duisburger Verkehrsgesellschaft con el sistema integrado de gestión de carga y recarga de IVU.

Desde el 1 de marzo de 2022, la Duisburger Verkehrsgesellschaft AG (DVG) utiliza siete autobuses articulados eléctricos, con lo que la línea 934 es cubierta por completo con vehículos eléctricos a batería [1]. El empleo de autobuses eléctricos respetuosos con el medio ambiente ahorra cada año alrededor de 1000 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) y garantiza al mismo tiempo una reducción considerable de emisiones contaminantes y acústicas en la ciudad. Este último aspecto fue uno de los motivos por los que DVG electrificó el servicio de autobuses en la línea 934. Partiendo del depósito de Unkelstein, esta línea atraviesa el centro de la ciudad hasta llegar a Sechs-Seen-Platte, en el sur de Duisburgo, y pasa por zonas expuestas a una alta carga de ruido y contaminación del aire. Estas zonas se beneficiarán ahora de una mejora directa de la calidad del aire [1].

Para el cambio del servicio de la línea 934 a autobuses eléctricos, la DVG recibe subvenciones del Ministerio Federal de Medio Ambiente y de la Asociación de Transporte Rin-Ruhr (VRR) [2]. La filial de Daimler EvoBus GmbH suministró los siete autobuses eléctricos articulados del modelo eCitaro. La capacidad total necesaria de 330 kWh se obtiene a partir de diez módulos de batería de alto voltaje de la última generación de baterías de iones de litio (NMC2) dotadas de una mayor densidad de energía [2]. EvoBus participa también en el proyecto como contratista general responsable a nivel técnico y comercial y, junto con sus socios y subcontratistas, es la responsable de los vehículos, la gestión de la carga y los periféricos, incluida la tecnología de carga.

Durante el servicio, los vehículos se pueden cargar con un pantógrafo dispuesto en la parte delantera, que se conecta a la estructura de carga de SBRS GmbH (Schaltbau Refurbishment Systems) en el depósito de DVG en Unkelstein [2]. Los tiempos de reposicionamiento en la parada final «Betr. Am Unkelstein» se aprovechan para realizar cargas intermedias con dos cargadores rápidos de 450 kW en un mástil en T (Imagen 1) dispuesto en el exterior del depósito [3]. Además, para la parada nocturna, SBRS instaló en la nave de estacionamiento siete cargadores fijos con campanas de contacto y una potencia máxima de 150 kW.



Imagen 1: Carga ocasional de dos EvoBus eCitaro G en los cargadores rápidos de 450 kW [1] (foto: DVG)

Para la monitorización y el control de los procesos de carga, DVG utiliza la gestión de carga y recarga de IVU Traffic Technologies AG (IVU) [4], [5]. Con el sistema de software pueden generarse automáticamente planes de carga adecuados en función de la hora de partida y controlar la infraestructura de carga mediante fases de carga inteligente. El precondicionamiento puntual del habitáculo y los límites de carga se tienen también en cuenta para el cálculo de los planes de carga [5]. Además, el sistema de gestión de carga (LMS) está conectado a la interfaz de datos de Daimler Buses. De ese modo, los coordinadores de DVG pueden monitorizar en el sistema de software directamente y en tiempo real todos los datos relevantes de los vehículos, como el estado de carga y la autonomía restante, a través de la Daimler Buses Cloud [4].

Sistema de gestión de carga para el servicio de autobuses

La gestión de carga y recarga de IVU comprende funciones seleccionadas del sistema integrado de gestión de cocheras para autobuses eléctricos y, por tanto, está diseñada especialmente para el servicio de autobuses. En interacción con el módulo para el cálculo de los planes de carga se definen fases de carga, que se transmiten a los cargadores a través del protocolo de comunicación abierto OCPP (Open Charge Point Protocol). Además de la carga de las baterías, es posible planificar también fases para la alimentación de los consumidores secundarios, el balance de baterías y el precondicionamiento.

El cumplimiento de las especificaciones de la empresa DVG y, con ello, el aseguramiento de un funcionamiento estable, tiene la máxima prioridad en la planificación de la carga. La Imagen 2

muestra los distintos pasos de la planificación de la carga, desde la determinación de los requisitos operativos hasta la optimización de las fases de carga.

Determinar los requisitos	Determinación automatizada de estados de carga objetivo y horas de partida → Definir las condiciones marco operativas
Previsión	Pronosticar el comportamiento de carga en función del estado de carga actual y de los objetivos → Detección temprana de si se pueden cumplir los objetivos
Priorización	Priorización de la potencia de carga limitada en función de las necesidades de carga → Garantizar la distribución de potencia óptima para cumplir los objetivos
Peak Shaving	Reducción de la potencia extraída de la red eléctrica → Minimización de los costes de uso de la red relacionados con la potencia

Imagen 2: Funcionalidades de la carga inteligente (gráfico: IVU)

Los aspectos principales en la planificación de la carga son las especificaciones operativas que se indican en forma de un estado de carga objetivo y una hora de partida. En la práctica no resulta viable que un usuario especifique manualmente los objetivos para cada proceso de carga. En su lugar se requiere un proceso automatizado. Con este fin, en el LMS de IVU se han implementado tres soluciones distintas que se diferencian por su grado de detalle. Un conjunto de reglas define la especificación de los objetivos de carga, con los que se pueden definir los valores objetivo en función del punto de carga, del vehículo y del período de inicio de la carga. En lugar del conjunto de reglas se puede conectar también un sistema previo (p. ej., un sistema de gestión de cocheras o un centro de control) que transmita los objetivos a través de la interfaz VDV-463. La variante más cómoda es utilizar el sistema integrado de gestión de cocheras para autobuses eléctricos (eBMS), que define el estado de carga objetivo y la hora de partida utilizando como base el uso actual de la infraestructura y las tareas vehículo planificadas [6].

En el paso siguiente, se utilizan modelos técnicos de la infraestructura y la batería del vehículo para visualizar el comportamiento de carga. Ya en este paso puede verse si el vehículo en cuestión podrá alcanzar el estado de carga objetivo planificado para el tiempo preestablecido y cuánta potencia se requerirá. Aquí hay que tener en cuenta que el comportamiento de carga no es en absoluto lineal y puede variar considerablemente dependiendo del tipo de batería. También es importante incluir el estado actual de envejecimiento de la batería.

Cumplimiento de los límites de potencia

La conexión de red y la infraestructura posterior de suministro de energía en Duisburgo están diseñadas de modo que ya ofrecen reservas para la ampliación de la flota de autobuses eléctricos. Todos los cargadores instalados actualmente podrían funcionar simultáneamente a potencia máxima sin sobrecargar la conexión eléctrica. Si esto ya no fuera posible por una nueva ampliación, interviene entonces la funcionalidad de priorización del LMS. Para maximizar la estabilidad operativa, se prioriza la energía y se destina a los vehículos que tienen las necesidades de carga más altas. Los vehículos que se detienen en las estaciones de carga rápida durante el día tienen mayor prioridad que los vehículos que están estacionados en el mismo momento y que no se van a utilizar hasta el día siguiente.

Además de los límites de potencia estáticos resultantes del dimensionamiento de la infraestructura, también se pueden definir límites de potencia dinámicos en el LMS de IVU. Esta opción ofrece el potencial de reducir la energía extraída de la red y, por lo tanto, ahorrar costes (uso atípico de la red), particularmente durante los períodos de demanda máxima en la red.

Ahorro de costes con *peak shaving*

Garantizar un funcionamiento estable es el objetivo principal del sistema de gestión de carga. Sin embargo, existen potenciales de optimización que pueden influir positivamente sobre todo en los costes. Un punto central en este contexto es la funcionalidad *peak shaving*. Este término se refiere a la posibilidad de nivelar los picos de carga. Esto se realiza mediante el desplazamiento temporal de las fases de carga y reduciendo la potencia de carga. La energía necesaria para la carga de los autobuses eléctricos debe extraerse de la red lo más uniformemente posible, ya que cuanto más baja sea la potencia máxima extraída, más bajos son los costes relacionados con la potencia. El factor decisivo aquí es la potencia promedio de 15 minutos de conexión a la red, que determinará luego la factura de electricidad de todo el año. Efectos secundarios positivos son la reducción de las pérdidas y la protección de las baterías del vehículo [7].

Monitorización de las cargas y del funcionamiento de los autobuses eléctricos

Si el sistema de gestión de carga y recarga está instalado y configurado correspondientemente, solo se requieren unas pocas intervenciones manuales. Tan pronto como un vehículo se conecta a un punto de carga, el sistema de gestión de carga calcula automáticamente un plan de carga adecuado a partir de la capacidad actual de las baterías, de los parámetros objetivo y de las condiciones marco especificadas. Las fases de carga inteligente definidas en el plan de carga se transmiten al cargador vía OCPP y allí se aplican para la carga del vehículo de la forma correspondiente.

Con ayuda del monitor de puntos de carga de IVU (véase la Imagen 3), el personal técnico de la infraestructura de carga de DVG puede supervisar en todo momento las cargas activas. El monitor muestra la disponibilidad de los puntos de carga, las interrupciones en la comunicación o los fallos de los cargadores. Mientras la carga está activa puede visualizarse el vehículo conectado y detalles sobre el estado de carga actual de las baterías en tanto por ciento, así como otros indicadores de rendimiento. Estos indicadores se registran para cada proceso de carga y se pueden exportar luego en forma de estadísticas.

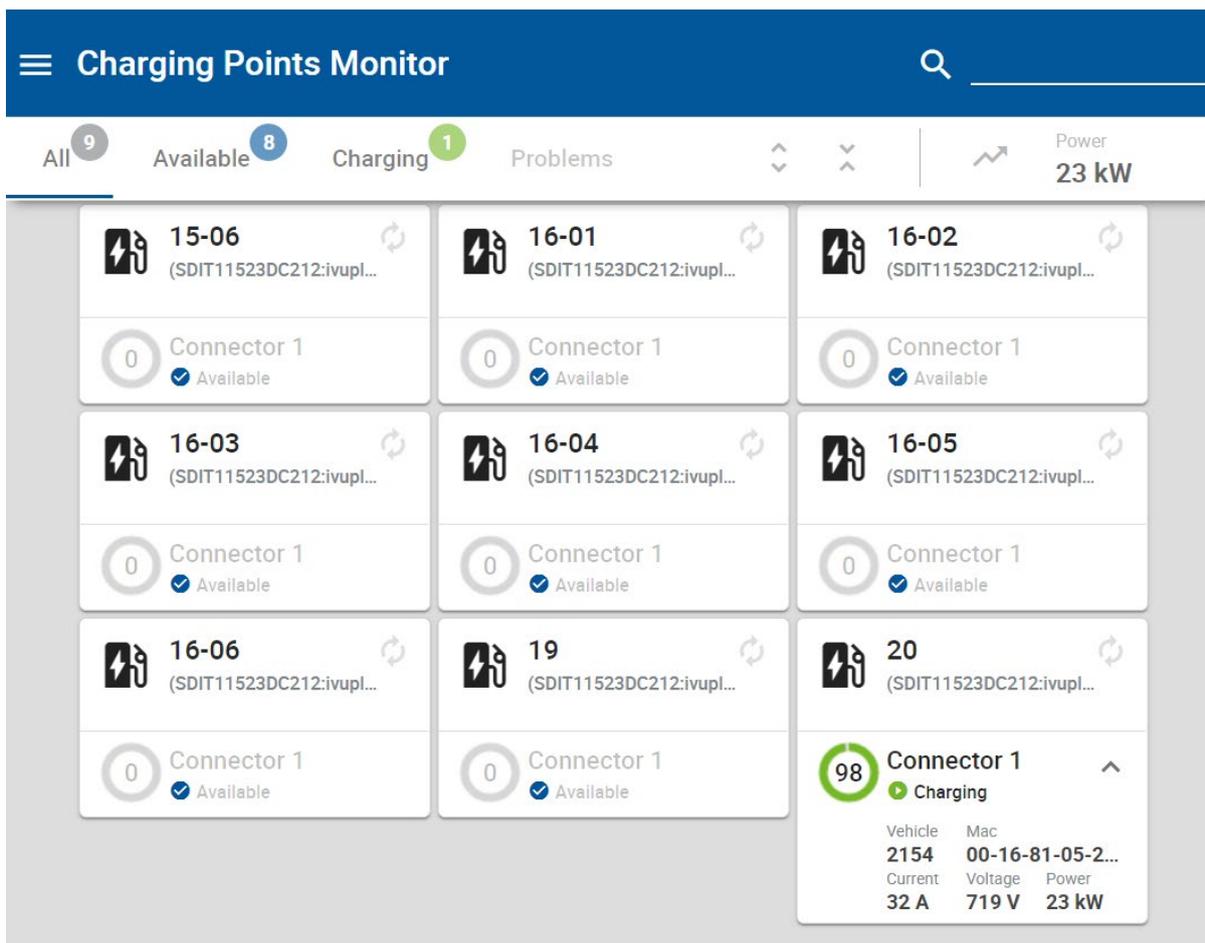


Imagen 3: Monitor de puntos de carga de IVU: Vista técnica para la supervisión de las cargas activas (imagen: IVU)

Si la conexión se interrumpiera o se notificara un error en la carga, los responsables pueden recibir estas alertas por correo electrónico o SMS. A menudo, los pequeños fallos se pueden solucionar mediante un restablecimiento parcial vía OCPP. Este se efectúa de forma remota desde el monitor de puntos de carga y evita tener que acudir al lugar donde está el cargador para corregir los fallos.

Si los vehículos están en ruta en servicio regular, los parámetros relevantes del autobús eléctrico, como el estado de carga actual de las baterías y la autonomía restante, se muestran en una tabla clara. Para ello, los parámetros se importan en tiempo real de la Daimler Buses Cloud al sistema IVU local. Esta información se puede ordenar y filtrar selectivamente para la finalidad deseada. La coloración configurable de los datos de los vehículos permite detectar rápidamente los estados de carga críticos.

Desarrollo del proyecto de gestión de carga

Si bien el proyecto en su conjunto comenzó a finales de 2020, incluida la fabricación de los vehículos y la construcción de la infraestructura de carga, el subproyecto para la introducción del sistema de gestión de carga se inició en la primavera de 2021. Para ahorrar tiempo en la puesta en servicio, IVU y SBRS realizaron ya en junio de 2021 las primeras pruebas de carga remotas. Aquí se trataba de garantizar que el cifrado, los certificados y la comunicación OCPP estuvieran implementados correctamente para poder efectuar los planes de carga predeterminados e inteligentes del LMS de la

manera adecuada. Tras la instalación del LMS en el entorno de servidores de DVG, se configuraron las interfaces para SBRS y Evobus. De ese modo, en otoño de 2021 ya se habían establecido los requisitos para que el LMS entrara en servicio productivo directamente tras la finalización de la infraestructura de carga y la entrega de los siete autobuses eCitaro.

A causa de los problemas de suministro que tuvo un fabricante externo de celdas de media tensión debido a la pandemia, hubo que reducir considerablemente la fase de prueba de la interacción de los vehículos, la infraestructura de carga y el sistema de gestión de carga. A pesar de eso, todas las empresas involucradas lograron cumplir con la fecha de inicio planificada (1 de marzo de 2022) para la electrificación completa de la línea de bus 934. El desarrollo fluido y rápido del proyecto en la introducción del LMS se debe, entre otras cosas, a la estrecha y buena cooperación entre IVU y EvoBus GmbH, que actúa aquí como contratista general. Proyectos similares se beneficiarán de la experiencia adquirida en este proyecto y podrán desarrollarse aún más rápidamente en el futuro.

Oportunidades futuras

También en flotas modestas de autobuses eléctricos resulta conveniente implementar desde el principio una gestión de carga y recarga que ofrezca numerosas funcionalidades. Con un LMS como base, las empresas de transporte estarán preparadas para seguir electrificando su flota de autobuses y acercarse cada vez más al objetivo de un transporte bajo en emisiones. La elección de los fabricantes de vehículos e infraestructuras de carga sigue siendo flexible. También un servicio mixto de autobuses diésel, eléctricos o de hidrógeno no supone ningún problema. La consideración de más depósitos y terminales con nueva infraestructura de carga solo requiere la ampliación de la configuración del LMS y esto se puede hacer en poco tiempo.

El enfoque integrativo del sistema de gestión de carga y recarga de IVU permite además agregar fácilmente más módulos de autobuses eléctricos de IVU.suite, como la optimización de tareas vehículo para autobuses eléctricos o el sistema de gestión de cocheras. La interacción coordinada de la gestión de cocheras y de carga hace posible la asignación automática de tareas y vehículos no solo en función del tipo y los atributos del vehículo, sino también de las condiciones del depósito y del espacio de estacionamiento. Para la determinación de las asignaciones adecuadas, también es posible tener en cuenta la capacidad restante actual de las baterías, la necesidad de energía de la tarea vehículo siguiente y distintos límites de potencia de la infraestructura de carga. Además, es posible adaptar los objetivos de carga de forma precisa a las tareas siguientes. Esto se efectúa también bajo condiciones marco cambiantes que hacen necesario adoptar medidas dispositivas a corto plazo. Con la ayuda de la información operativa adicional, la gestión de carga puede distribuir o reservar cargas de manera más inteligente para poder coordinar planes de carga óptimos en todos los depósitos.

Así pues, la gestión de carga y recarga de IVU ofrece el acceso ideal y rápido para la electrificación de flotas de autobuses. Gracias a su flexibilidad y a su amplia compatibilidad, la solución brinda un gran potencial para futuras ampliaciones de la flota de autobuses eléctricos y de la infraestructura de carga. El sistema LMS apoya así a las empresas de transporte directamente en la transición de la movilidad hacia un transporte de cercanías más respetuoso con el medio ambiente y favorece el uso de vehículos que contribuyen de forma importante a reducir los niveles de ruido y las emisiones contaminantes en las ciudades y, por tanto, a hacerlas más habitables.

Información sobre los autores



Ing. Dipl. Simon Müller: Tras sus estudios de ingeniería de tráfico, trabajó como colaborador científico en la Universidad Técnica de Berlín, en el campo de la aviación y la interacción hombre-máquina. Desde principios de 2019 es director de proyectos en IVU Traffic Technologies AG. Como experto en movilidad eléctrica, está especialmente implicado en proyectos para la introducción de sistemas de gestión de carga y cocheras o la optimización de tareas de autobuses eléctricos. Entre otras funciones, asumió dentro de IVU la dirección del proyecto descrito en el artículo para la introducción de la gestión de carga y recarga de los autobuses eléctricos de la Duisburger Verkehrsgesellschaft AG.



Dr. Ing. Matthias Rogge: Es uno de los gerentes de EBS ebus solutions GmbH y desarrolla con su equipo de ingenieros y desarrolladores de software módulos para la previsión de la demanda de energía y la planificación de la carga. Estos módulos están integrados en el sistema completo IVU.suite y se encargan de que los autobuses eléctricos se carguen de forma fiable, cuidadosa y económica. Desde 2015 asesora junto con ebusplan GmbH, un equipo de expertos en autobuses eléctricos, a empresas de transporte de toda Europa para el cambio de sus flotas de vehículos a autobuses eléctricos. En el marco de su tesis doctoral en la Universidad RWTH de Aquisgrán, investigó la tecnología de sistemas de baterías para autobuses eléctricos durante más de cinco años

Bibliografía

- [1] <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/aktuell/elektrolinie-934>, 29.03.2022, 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, 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, 15:44
- [4] <https://www.nahverkehrspraxis.de/e-busse-samt-ladeinfrastruktur-von-daimler-buses-fuer-die-dvg/>, 29.03.2022, 15:44
- [5] <https://www.ivu.de/aktuelles/details/automatisiertes-lademanagement-fuer-die-dvg>, 29.03.2022, 15:45
- [6] T. Franke y C. Hein, «Elektromobilität ganzheitlich denken», *Der Nahverkehr*, vol. 10, 2021.
- [7] P. Sinhuber, «Zusammenspiel zwischen Lademanagement und Batteriealterung», *Der Nahverkehr*, vol. 5, 2022.