

Interacción entre la gestión de carga y el envejecimiento de las baterías

Cómo un buen LMS puede prolongar la vida útil de las baterías de forma sostenible

Philipp Sinhuber, Aquisgrán

El sistema de baterías es el «corazón» de todo autobús eléctrico: no solo define las características técnicas, sino que también es determinante para los costes. Así, un sistema de baterías supone hasta un tercio de los costes de adquisición y es, con creces, el componente más caro de un autobús eléctrico. Además, la durabilidad de las soluciones actuales aún es limitada, por lo que las empresas de transporte deben planificar como mínimo una sustitución de las baterías durante la vida útil de un autobús eléctrico.

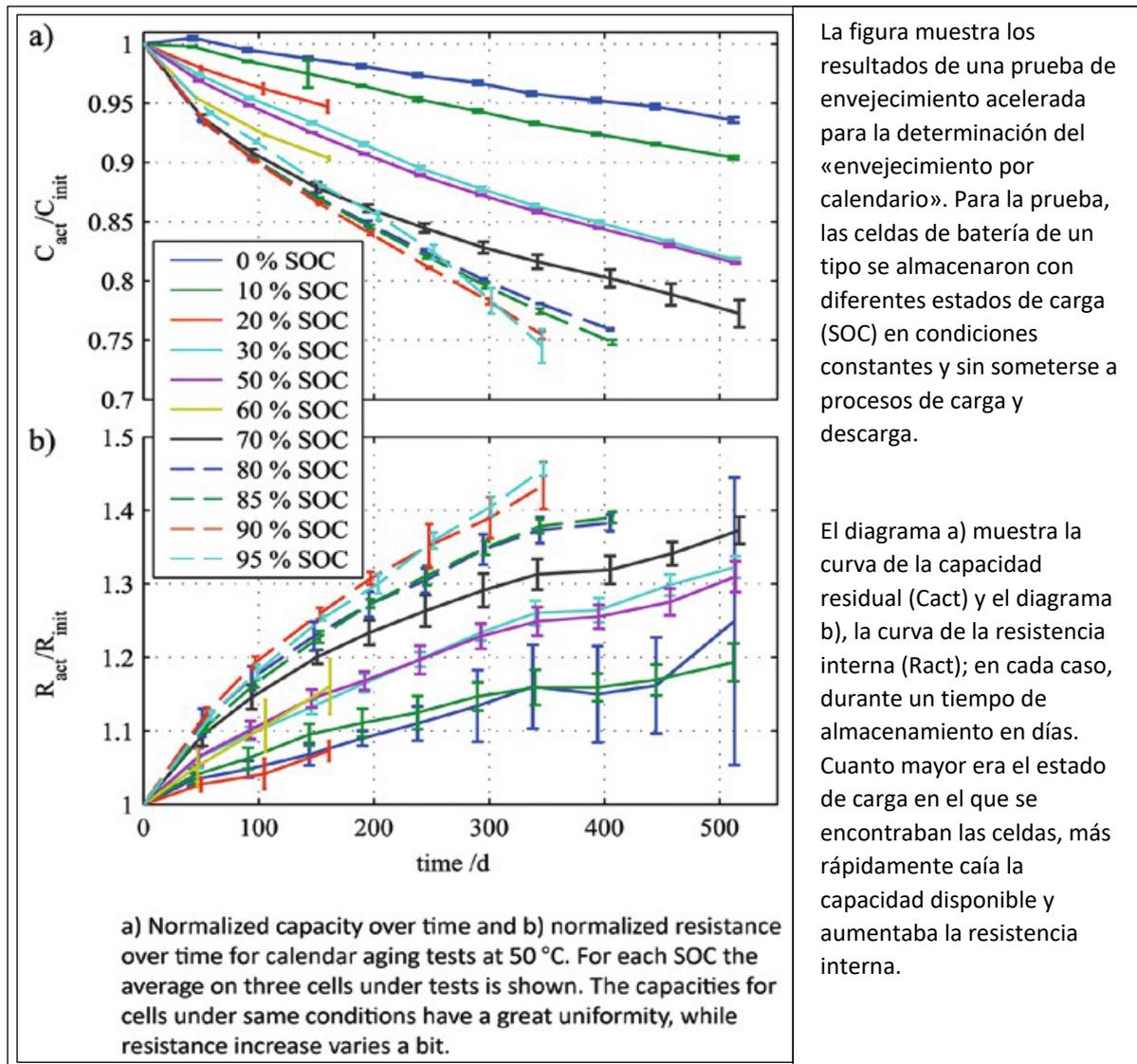
De ahí que para las empresas de transporte sea clave crear siempre las condiciones óptimas, tanto durante los viajes como durante las cargas, a fin de proteger al máximo los sistemas de baterías. El sistema de gestión de carga (LMS) es el encargado de la planificación y el control de los procesos de carga y puede influir positivamente en la vida útil de las baterías teniendo en cuenta sus características específicas. También resulta de gran importancia la interacción del LMS con el despacho de vehículos como parte del sistema de gestión de cocheras (BMS). Así, por ejemplo, en la asignación de los vehículos a tareas y estaciones de carga deben tenerse siempre en cuenta los tiempos de carga para lograr resultados óptimos.

El siguiente artículo explica los procesos de envejecimiento de las baterías y describe las funciones y ventajas de un LMS en relación con el envejecimiento de las baterías.

Posibles causas del envejecimiento de las baterías de los autobuses eléctricos

En casi todos los autobuses eléctricos se utilizan baterías de litio. Existen diferentes factores que provocan el envejecimiento de las baterías: las tensiones por estados de carga elevados y las altas temperaturas suelen provocar un envejecimiento más rápido que tensiones medias o temperaturas moderadas. La tensión y la temperatura son magnitudes físicas que describen el contenido de energía de un sistema. Cuanto mayor es el contenido de energía, más rápidamente discurren las reacciones parásitas en el sistema. Esto puede provocar, por ejemplo, que los portadores de carga (iones de litio) se enlacen y ya no estén disponibles para la propia reacción electroquímica. También pueden formarse capas superficiales en los materiales activos, provocando que las celdas de batería pierdan capacidad y aumentando su resistencia interna, incluso si la batería no se carga o descarga en absoluto. Esto se conoce como «envejecimiento por calendario» e indica que la vida útil es limitada incluso si la batería no se usa en absoluto.

En cambio, si la batería envejece debido a los procesos de carga y descarga, se habla de un «envejecimiento por ciclos» o «vida útil por ciclos». Durante la carga y descarga se modifica la dilatación de los materiales activos, lo que provoca esfuerzos mecánicos y, finalmente, su desgaste. Esto es comparable a una pieza de metal que se dobla continuamente en ambos sentidos: cuanto mayores sean las flexiones, más rápidamente envejecerá el material en el punto de flexión. Según la profundidad de ciclación (y en función también de la tecnología de las celdas), la capacidad puede extraerse y recargarse de 800 a 5000 veces hasta que la batería alcanza el final de su vida útil. Esto se denomina también «equivalentes de ciclo completo». En cambio, el titanato de litio (LTO), un material activo para el electrodo negativo, presenta un volumen de trabajo considerablemente menor que el grafito, el material «clásico» utilizado en el ánodo. De ahí que las celdas correspondientes puedan alcanzar de dos a cinco veces más equivalentes de ciclo completo.



La figura muestra los resultados de una prueba de envejecimiento acelerada para la determinación del «envejecimiento por calendario». Para la prueba, las celdas de batería de un tipo se almacenaron con diferentes estados de carga (SOC) en condiciones constantes y sin someterse a procesos de carga y descarga.

El diagrama a) muestra la curva de la capacidad residual (C_{act}) y el diagrama b), la curva de la resistencia interna (R_{act}); en cada caso, durante un tiempo de almacenamiento en días. Cuanto mayor era el estado de carga en el que se encontraban las celdas, más rápidamente caía la capacidad disponible y aumentaba la resistencia interna.

Fig. 1: Resultados de una prueba de envejecimiento típica para celdas de batería (tipo de celda: Sanyo UR18650E, material del cátodo: NMC, material del ánodo: grafito). Prueba realizada en el

Influir en el envejecimiento de las baterías

Para ralentizar al máximo el envejecimiento de las baterías, primero se puede intentar mantener lo más bajos posible los parámetros mencionados, es decir, temperatura, tensión, estado de carga y ciclación. Por consiguiente, un «almacenamiento en la nevera» prometería la mayor vida útil. Sin embargo, como la finalidad de la batería consiste en almacenar y luego proporcionar energía para las unidades de accionamiento y auxiliares, y el funcionamiento siempre tiene prioridad, dicho «almacenamiento en la nevera» no resulta posible. Pero existen grados de libertad para hacer funcionar las baterías protegiéndolas al máximo. Y esto es lo que se consigue especialmente con un sistema de gestión de carga adecuado. Así, por ejemplo, para minimizar el envejecimiento por calendario, los autobuses se pueden cargar lo más tarde posible y solo en la medida en que tengan suficiente carga para la tarea vehículo siguiente, lo que no necesariamente significa una carga del 100 %. De ese modo, las baterías solo estarían en un estado alto de carga durante el menor tiempo posible.

La potencia de carga también influye en el envejecimiento de las baterías. Una alta corriente de carga provoca, por ejemplo, el calentamiento de la batería. Si el sistema de refrigeración no está diseñado adecuadamente y la temperatura se distribuye de forma irregular, las piezas del paquete de baterías envejecerán con especial rapidez. Por lo tanto, aquí es determinante la calidad del paquete de baterías y del sistema de refrigeración. En el mercado existen diferentes sistemas de refrigeración, así como diferentes calidades de sistemas de baterías.

En los terminales, a menudo se utiliza una alta potencia de carga para la recarga. En este caso, los tiempos de carga son entre 5 y 15 minutos. Si la calidad del sistema de baterías es suficiente, la estrangulación de la potencia influye poco en estos procesos de carga. En tal caso, asegurar el funcionamiento debería ser la prioridad. Si la carga se realiza durante la noche en el depósito, suele disponerse de más tiempo y, por tanto, de más flexibilidad, con lo que la corriente de carga puede reducirse en consecuencia.

La ciclación de la batería y, con ello, la profundidad de ciclo deberían regirse por la necesidad del servicio de autobuses. Con una planificación y un diseño sólidos del sistema de bus eléctrico, donde la capacidad de la batería está diseñada para el peor de los casos, la ciclación suele ser moderada, ya que el peor de los casos rara vez se produce. Mantener tareas lo más cortas posible y, con ello,

aceptar una mayor necesidad de vehículos u otras ineficiencias operativas solo para aplanar la ciclación de la batería generalmente no tiene sentido.



Información sobre el autor

Philipp Sinhuber es uno de los gerentes de EBS ebus solutions GmbH y desarrolla con su equipo de ingenieros y desarrolladores de software algoritmos para el pronóstico del consumo de energía y la planificación de las fases de carga en IVU.suite. Estos algoritmos se encargan de que los autobuses eléctricos se carguen de forma fiable, cuidadosa y económica. Durante su etapa en la Universidad RWTH de Aquisgrán, investigó durante seis años la tecnología de sistemas de baterías para autobuses eléctricos. Desde 2015 asesora junto con ebusplan GmbH a empresas de transporte para el cambio de sus flotas de vehículos a

Requisitos que debe cumplir un LMS para autobuses eléctricos

En primer lugar, un LMS controla los cargadores, la mayoría de las veces siguiendo el protocolo Open Charge Point Protocol (OCPP), y estipula límites de potencia dentro de los cuales los cargadores negocian y llevan a cabo los procesos de carga reales con el vehículo. El LMS asigna la potencia de tal manera que se logran diferentes objetivos duros y blandos. Objetivos duros son, por ejemplo, realizar la carga de todos los autobuses al mismo tiempo para el próximo servicio o no sobrecargar componentes o la conexión a la red eléctrica. Otro objetivo duro es mantener un intervalo de tiempo de bloqueo durante el cual no se cargue en absoluto o se cargue solo con baja potencia. En cambio, un objetivo blando es minimizar la potencia máxima para reducir los costes de energía de la empresa de transporte.

Un buen LMS conoce los vehículos empleados y sus baterías, así como la infraestructura de carga utilizada. Esto le permite prever los tiempos de carga, establecer fases de carga específicas y aumentar así los potenciales de optimización. Las fases de carga se pueden programar de forma más breve y planificar reservas y redundancias de manera más consciente en los puntos donde más convenga.

Sobre esta base, un buen LMS ofrece a las empresas de transporte la posibilidad de ajustar el control de las fases de carga de forma específica para el servicio de autobuses. En este punto existen grandes diferencias de ciudad a ciudad y de región a región. Puede darse el caso de que una empresa de transporte necesite más almacenamiento y reservas debido a los procesos operativos en el depósito que otra empresa de transporte en la que la reducción de los picos de carga juegue un papel mucho más importante. Un buen LMS aúna los diversos factores de influencia y optimiza los planes de carga de acuerdo con las condiciones marco locales específicas, las cuales puede ajustar el usuario.

En términos de rentabilidad, las conexiones a la red eléctrica en los depósitos no suelen estar dimensionadas para cargar todos los vehículos al mismo tiempo. Por lo tanto, el recurso «potencia de carga» es limitado y debe priorizarse. Para maximizar la estabilidad operativa se deben tener en cuenta la necesidad de carga y la hora de partida. El LMS recibe del sistema de gestión de cocheras (BMS) las horas de partida de los autobuses y los respectivos estados de carga mínimos necesarios, y sabe así cuánta energía hay que recargar y cuánto tiempo tardará la recarga. El LMS tiene que considerar también los buses que están aún en ruta; para ello, debe recibir del BMS un pronóstico del estado de carga previsto cuando lleguen al depósito. Además, el BMS debe saber cuánta energía consume el autobús y cuánta energía se recarga eventualmente en los terminales («carga ocasional»). Por lo tanto, un buen LMS está totalmente integrado en el entorno de sistemas y, sobre todo, es específico de la aplicación, es decir, está hecho a medida para el servicio de autobuses, el cual difiere considerablemente del funcionamiento de un área de servicio de autopista o de una torre de aparcamiento.

Funcionalidades del LMS relevantes para las baterías

En el sistema integral descrito, la batería juega también un papel importante. Así, por ejemplo, no solo hay que precondicionar el habitáculo antes de la partida sino, en ocasiones también, la propia batería. Esto también lo controla el LMS y puede planificarlo el coordinador a través del BMS. Además, el LMS debe proporcionar potencia para otros consumidores secundarios durante la carga, así como para el balance de las baterías («balancing»). Este reajuste de las tensiones de las distintas celdas del sistema de baterías es necesario realizarlo en todas las baterías de litio de vez en cuando

para mantenerlas en un estado eficiente y evitar un envejecimiento innecesario. Algunas baterías requieren para ello una alimentación de corriente a través del cargador.

Las figuras 2 y 3 muestran un ejemplo esquemático para tres autobuses. El marcador «AN» representa las llegadas a la respectiva estación de carga. Por su parte, el marcador «AB» indica la posterior salida del depósito. La altura de las barras de color indica la potencia de carga asignada al vehículo (por el LMS), mientras que la anchura indica el tiempo de esta asignación de potencia. Los bloques simbolizan una forma simplificada del «chargingSchedulePeriod» según OCPP y las curvas negras indican el discurso del estado de carga esperado.

La figura 2 muestra el caso de una carga no controlada. Todos los autobuses inician su carga inmediatamente tras la llegada a la estación de carga. En consecuencia, es de esperar una alta potencia máxima en el margen de tiempo en el que se superponen los bloques de carga azul y verde. Las baterías de los dos autobuses superiores se cargan a tope muy rápidamente (SOC del 100 %) y permanecen largo tiempo en el estado de carga completa.

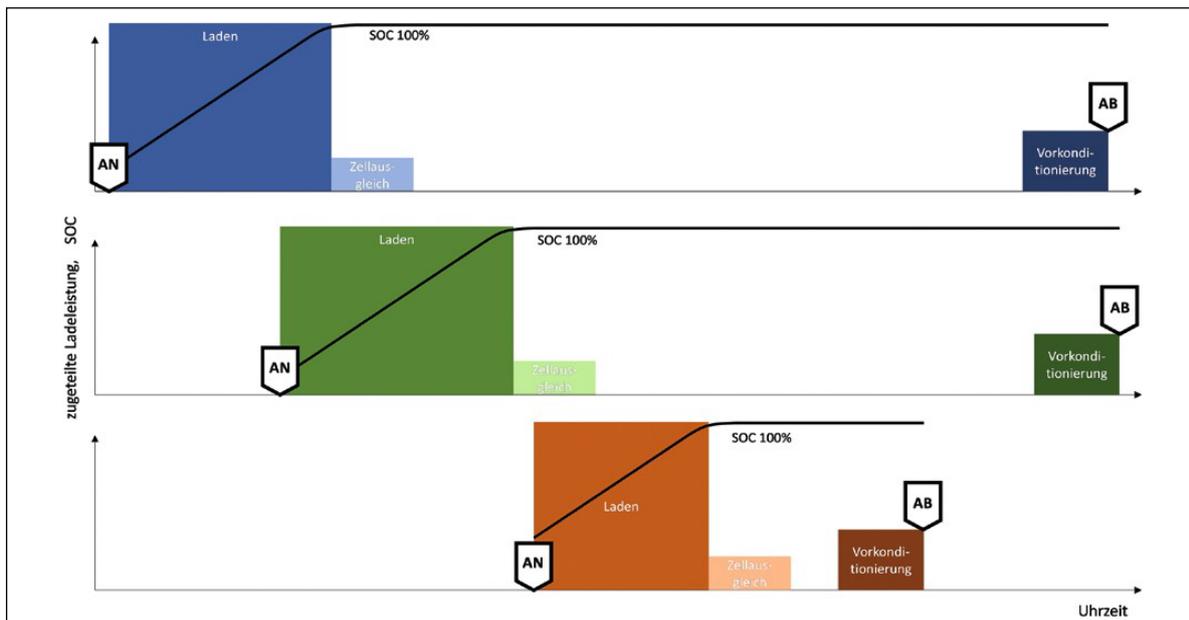


Fig. 2: Carga no controlada

La figura 3 muestra ahora el caso de una planificación inteligente de las fases de carga. Aquí no solo se reparte la potencia y se mantiene reducida la simultaneidad para evitar picos de carga, sino que también se lleva a cabo una priorización de la distribución de potencia a los vehículos de acuerdo con sus horas de partida y sus necesidades de carga. Gracias al mejor aprovechamiento de los tiempos de parada, las potencias de carga son menores. Esto puede verse en los bloques más planos y en que las curvas del estado de carga suben con menor rapidez. De este modo, se reducen un poco las pérdidas en la infraestructura de carga, ya que estas aumentan de forma desproporcionada a medida que aumenta la carga, por ejemplo, en los transformadores, subdistribuidores y líneas de suministro. Pero también hay efectos en las baterías: por ejemplo, una reducción de la potencia de carga de 120 kW a 60 kW significa, calculado de modo aproximado, que la corriente de carga se reduce a la mitad. Para los paquetes de baterías actuales, que suelen tener más de 300 kWh en los autobuses rígidos, incluso 120 kW es una potencia de carga baja. Una reducción tendría poca repercusión si la calidad del sistema de baterías es la adecuada. Sin embargo, para el envejecimiento de las baterías, el efecto de que estas solo alcancen el estado de plena carga bastante más tarde y, por lo tanto, permanezcan en un estado de alta carga durante menos tiempo puede desempeñar un papel más importante (Fig. 1).

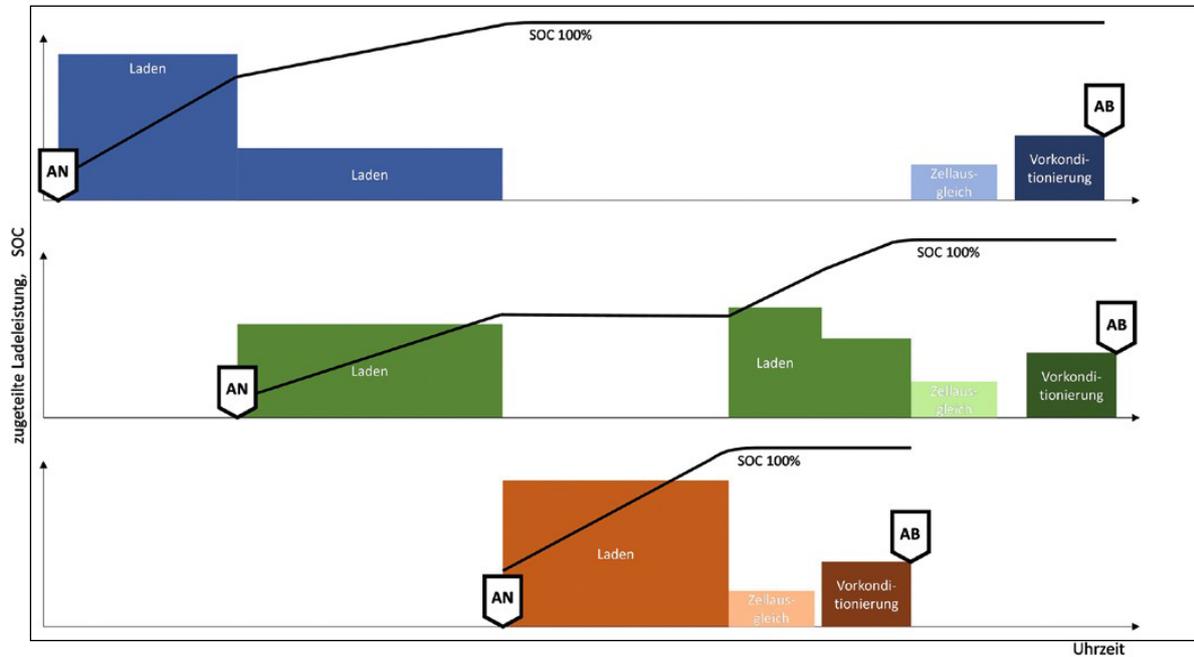


Fig. 3: Carga con aplanamiento de carga, con el cual también se protegen las

A efectos de simplicidad, en las figuras 2 y 3 se supone que los autobuses se cargan por completo. Para proteger aún más las baterías, es posible cargar solo hasta el nivel de carga mínimo requerido para la tarea vehículo siguiente.

Perspectivas

Conociendo las necesidades y el comportamiento de carga, así como las especificaciones de la empresa en relación con las reservas necesarias y los objetivos de optimización, un buen LMS puede tener también en cuenta los factores de influencia en el envejecimiento de las baterías mencionados anteriormente, cargarlas protegiéndolas al máximo y monitorizar el progreso de la carga.

Conociendo además la información de estado del vehículo, como la temperatura de las baterías, es posible implementar también funciones de seguridad. Dentro del debate actual en el sector acerca de las causas y las estrategias de prevención de incendios en autobuses eléctricos, el LMS podría suponer un nivel adicional de seguridad, ya que supervisa la temperatura de las baterías durante el proceso de carga. De ese modo, se sumaría a los mecanismos de seguridad del propio vehículo y del sistema de gestión de baterías. Si se facilitaran al LMS las temperaturas de las baterías de todos los vehículos a través de la interfaz de carga, sería incluso imaginable incluir la temperatura de las baterías en la planificación de las fases de carga y redistribuir la potencia de carga en una fase temprana. Con una integración adecuada en el BMS, sería incluso posible tenerlo en cuenta en las decisiones dispositivas.

Bibliografía:

[1] J. Schmalstieg *et al.*, *Journal of Power Sources* 257 (2014), 325–334.