

dossier.

Ausgediente Batterien nutzen

Kreislaufwirtschaft | Hauptsächlich im Mobilitätsbereich werden immer mehr Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt. Das CircuBAT-Forschungsprojekt sucht nach Möglichkeiten, um die Ökobilanz dieser Batterien zu verbessern.

Utiliser des batteries usagées

Économie circulaire | L'utilisation de batteries lithium-ion est de plus en plus fréquente, notamment dans le domaine de la mobilité. Le projet de recherche CircuBAT étudie diverses possibilités pour améliorer l'écobilan de ces batteries.



Bild | Figure: Berner Fachhochschule

V. HANGARTNER, S. NIGSCH, P. CALIANDRO, A. VEZZINI

Lithium-Ionen-Batterien haben sich in vielen Anwendungen etabliert. Das Spektrum reicht von Einzelzellen in Taschenlampen über schwere Batterien in Elektrofahrzeugen bis zu stationären Energiespeichern im MWh-Bereich. Weltweit erreichte die Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien für Kraftfahrzeuge mehr als 750 GWh im 2023, ein Anstieg um 40 % gegenüber 2022 [1].

Mit der zunehmenden Anzahl an Elektrofahrzeugen steigt auch die Menge an Batterien, die am Ende der Lebensdauer der Fahrzeuge anfällt. Wie damit dereinst umgegangen werden soll, ist aber noch immer weitgehend ungeklärt. Im Recycling hingegen werden Batterien heute noch überwiegend dem Shredder zugeführt und zum Zwischenprodukt Schwarzmasse verarbeitet, was für den Grafit noch ein Downcycling bedeutet [2]. Zur Rückgewinnung von Wertstoffen wie Aluminium, Kupfer, Grafit und Kathodenmaterialien aus den Zellen in möglichst reiner Form, zur Anpassung an die hohen Produktionsraten und Kosten sowie zur Schliessung des Batteriekreislaufs ist künftig ein hochautomatisiertes Recyclingverfahren erforderlich.

Allgemein werden in der Elektromobilität Batterien mit einer Speicherkapazität von mehr als 80 % des Neuzustandes als genügend erachtet. Diese Grösse wird State of Health, SOH, genannt. Liegt der SOH darunter, ist noch immer ausreichend Restkapazität für andere Anwendungen wie stationäre Energiespeicher in Häusern vorhanden, bei denen Energiedichte und Leistungsfähigkeit (C-Rate) weniger entscheidend sind. Mit 80 % SOH verfügt eine gealterte Batterie eines VW ID.3 (neu 58 kWh) noch über 46,4 kWh. Diese ist weit mehr als die für in Einfamilienhäusern in Kombination mit einer PV-Anlage sinnvollen Speichergösse von etwa 10 kWh [3]. Aus Nachhaltigkeitsgründen ist eine weitere Verwendung der Traktionsbatterie in einer Zweitnutzung (Second-Life) sinnvoll, denn sie kann je nach Anwendung die Lebensdauer der Batterie um 8 Jahre oder mehr [4] verlängern. Es gibt aber unterdessen erst vereinzelte Angebote in diesem Bereich. Im grossen Stil angewandte Lösungen sind heute auch aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht verfügbar.

Kreislaufwirtschaft für Traktionsbatterien

Hier setzt das Forschungsprojekt CircuBAT an. Es will den Kreis zwischen Produktion, Anwendung und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus der Mobilität schliessen. Dafür suchen sieben Schweizer Forschungsinstitutionen sowie 24 Unternehmen gemeinsam nach Optimierungsmöglichkeiten für mehr Nachhaltigkeit in allen Lebensabschnitten der Batterie. Das CircuBAT-Projekt startete 2022 und läuft bis Ende 2025. Es ist Teil der Flagship-Initiative zur Förderung von Systemischer Innovation von Innosuisse, der Schweizer Agentur für Innovationsförderung. In CircuBat forschen sieben Teilprojekte zu relevanten Aspekten in der Schweizer Batterie-Wertschöpfungskette. Hier wird ein Einblick in die Teilprojekte «Nutzung neuer Batterien» und «Zweitnutzung von Antriebsbatterien aus Fahrzeugen in der Elektrizitätsversorgung» gegeben.

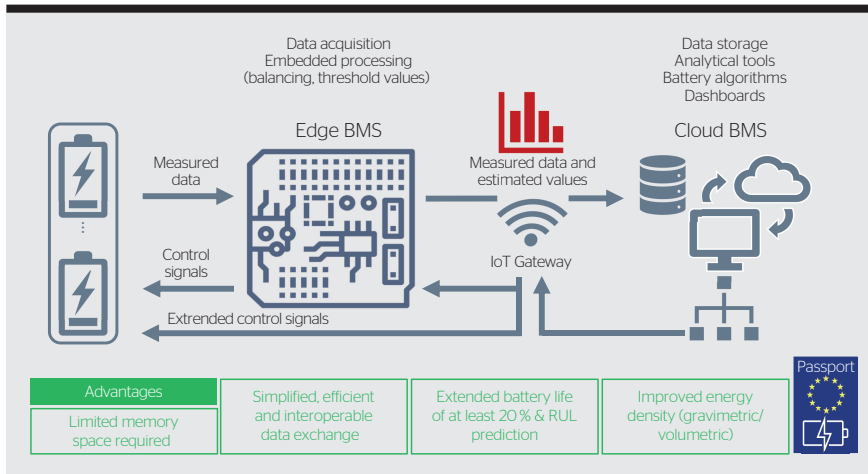
Les batteries lithium-ion se sont imposées dans de nombreuses applications. Le spectre s'étend des cellules individuelles utilisées dans les lampes de poche aux systèmes de stockage d'énergie stationnaires d'une puissance de plusieurs MWh, en passant par les lourdes batteries installées dans les véhicules électriques. À l'échelle mondiale, la demande en matière de batteries lithium-ion pour les véhicules a franchi la barre des 750 GWh en 2023, ce qui représente une hausse de 40 % par rapport à 2022 [1].

Le nombre de batteries devenues inutiles lorsque les véhicules électriques arrivent en fin de vie augmente proportionnellement au développement de la mobilité électrique. Or, on ne sait toujours pas quel sort leur réserver. Aujourd'hui, dans les circuits de recyclage, les batteries sont encore en grande partie broyées pour former un produit intermédiaire appelé « black mass », ou masse noire, ce qui signifie encore un décyclage pour le graphite [2]. Un processus de recyclage hautement automatisé sera nécessaire à l'avenir pour récupérer les matériaux – tels l'aluminium, le cuivre, le graphite et les matériaux des cathodes – contenus dans les cellules sous la forme la plus pure possible afin de s'adapter à la hausse des rythmes de production et des coûts ainsi que pour refermer le cycle des batteries.

De façon générale, les batteries dont la capacité de stockage reste supérieure à 80 % de ce qu'elle était à l'état neuf, sont considérées comme suffisantes dans le domaine de la mobilité électrique. Cette grandeur est dénommée « state of health » (SOH). Si le SOH est inférieur à 80 %, la capacité résiduelle des batteries est néanmoins suffisante pour d'autres applications, comme les systèmes de stockage d'énergie stationnaires domestiques, pour lesquels la densité énergétique et la performance de charge et de décharge (C-rate) revêtent une moindre importance. Avec un SOH de 80 %, une batterie usagée de VW ID.3 (58 kWh à l'état neuf) offre encore une capacité de stockage de 46,4 kWh. C'est bien plus que la capacité de stockage d'environ 10 kWh recommandée pour une maison individuelle en combinaison avec une installation photovoltaïque [3]. Pour des raisons de durabilité, il est judicieux de continuer à employer les batteries de traction pour une seconde utilisation (seconde vie), car cela peut prolonger la durée de vie de la batterie de 8 ans ou plus, selon l'application [4]. Aujourd'hui, il n'existe toutefois que quelques rares offres dans ce domaine. Aucune solution à grande échelle n'est encore disponible, notamment pour des raisons économiques.

Une économie circulaire pour les batteries de traction

C'est là qu'intervient le projet de recherche CircuBAT. Ce projet vise à boucler la boucle entre production, utilisation et recyclage des batteries lithium-ion utilisées dans le domaine de la mobilité. À cette fin, sept instituts de recherche suisses et 24 entreprises étudient conjointement



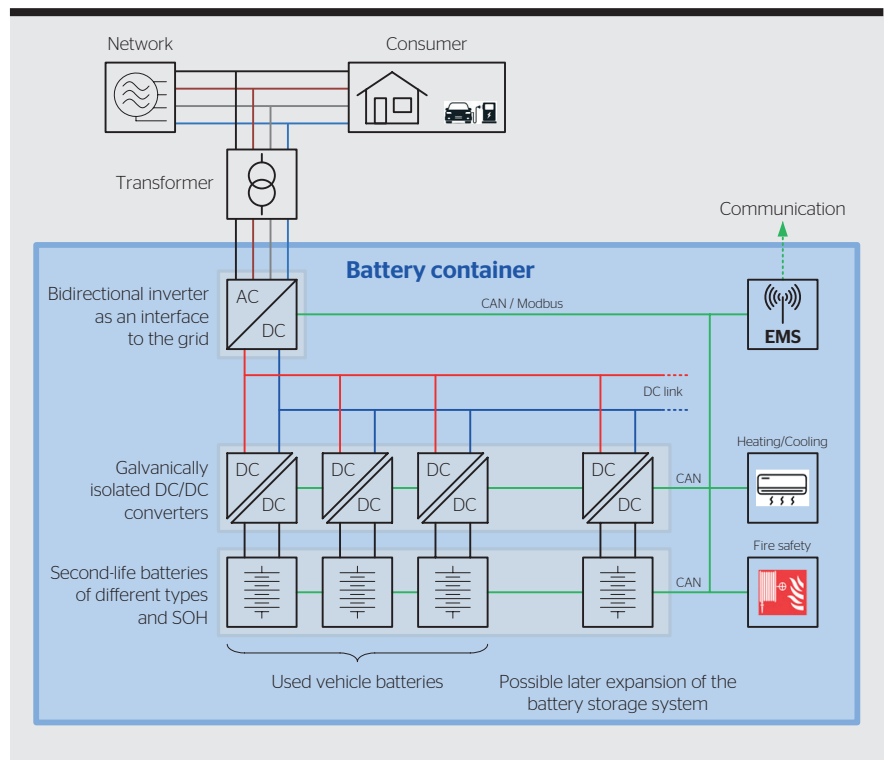
Statistical Data Frame (SDF): Das an der BFH entwickelte Konzept für die statistische Erfassung von Daten über die Nutzung von Li-Ionen-Batterien.

Statistical Data Frame (SDF): concept développé à la BFH pour la saisie statistique des données relatives à l'utilisation des batteries lithium-ion.

Advantages			
Limited memory space required	Simplified, efficient and interoperable data exchange	Extended battery life of at least 20% & RUL prediction	Improved energy density (gravimetric/volumetric)

Konzeptioneller Aufbau des CircuBAT Second-Life Batteriecontainers.

Structure conceptuelle du container à batteries de seconde vie CircuBAT.

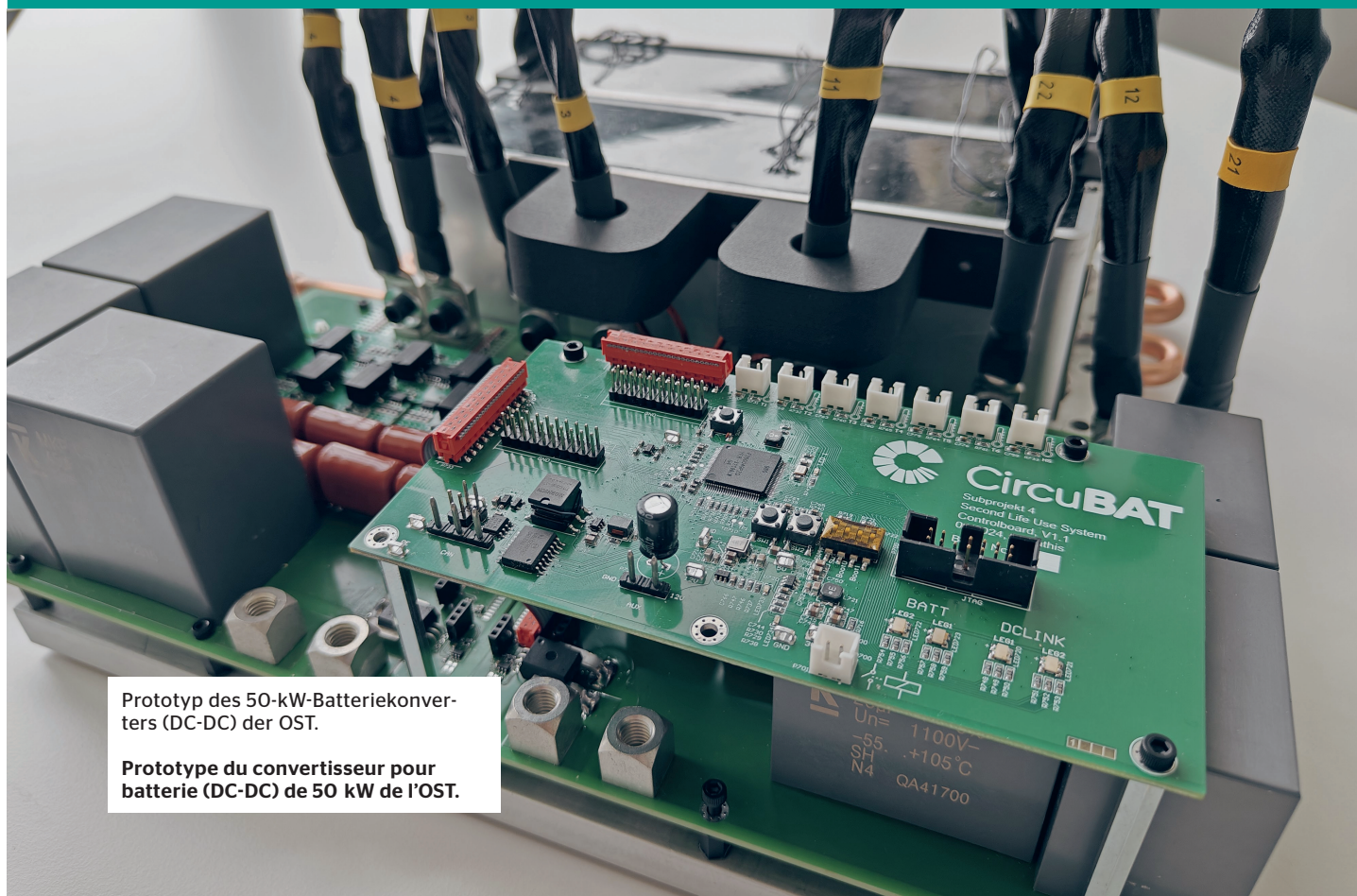


tement des possibilités d'optimisation pour accroître la durabilité des batteries durant toutes leurs phases de vie. Le projet CircuBAT, lancé en 2022, se poursuivra jusqu'à fin 2025. Il fait partie de l'Initiative Flagship d'Innosuisse, l'Agence suisse pour l'encouragement de l'innovation, qui vise à soutenir l'innovation systémique. Dans le cadre de CircuBAT, sept sous-projets étudient des aspects pertinents de la chaîne de création de valeur des batteries en Suisse. Cet article propose un aperçu des sous-projets « Utilisation de batteries neuves » et « Seconde utilisation de batteries de traction de véhicules dans l'approvisionnement électrique ».

Ein längeres Leben für Batterien

Das Teilprojekt «Nutzung neuer Batterien» unter der Leitung von Prof. Dr. Priscilla Caliandro befasst sich mit der Verbesserung der Ökobilanz von Batterien durch die Verlängerung ihrer Lebensdauer. Denn jede Batterie verliert durch die Nutzung an Speicherkapazität und altert unabhängig davon auch mit der Zeit. Die Batteriealterung lässt sich aber beeinflussen.

Durch die Entwicklung von datenbasierten Strategien und Algorithmen soll die Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien in der ersten Anwendung in E-Bikes (Thömus AG), Dreirädern (Schweizerische Post AG und Kyburz Schweiz AG), Hubstaplern (Green Cubes Technology),



Prototyp des 50-kW-Batteriekonverters (DC-DC) der OST.

Prototype du convertisseur pour batterie (DC-DC) de 50 kW de l'OST.

Autos (Mobility Genossenschaft), Kastenwagen (FPT Motorenforschung AG) und Lastwagen (E-Force One AG) maximiert werden.

Dabei sollen die Batterien so betrieben werden, dass sie die Mobilitätsanforderungen bei möglichst tiefen Betriebskosten möglichst lange erfüllen. Dafür muss ihr Alterungsprozess während der Nutzungszeit gut verstanden und die Bedingungen und Parameter identifiziert werden, die den Batterien schaden. Für die Modelle werden Daten verwendet, welche die Umsetzungspartner bereits über mehrere Jahre aufgezeichnet haben. Diese Daten werden analysiert, um auf Big-Data- und auf maschinellem Lernen basierende Modelle zur Beschreibung der Batteriealterung zu entwickeln. Die abgeleiteten Strategien werden im Projekt an E-Bikes und einem E-LKW angewandt und getestet.

Ausserdem soll ein statistisches Datenmodell eine schnelle, technologisch fundierte und kostengünstige Entscheidung darüber ermöglichen, wann und ob eine Batterie von der ersten zur zweiten Nutzung übergehen soll. Dieser Entscheid hängt vom Residualwert (in CHF) der Batterie und weiteren Faktoren wie beispielsweise Garantieleistungen oder Sicherheitsvorschriften in der Second-Life-Anwendung ab. Dazu erforscht das Team an der Berner Fachhochschule BFH die Batteriealterung auch auf der Strasse. Zum Beispiel werden mit E-Bikes relevante Batteriedaten wie die Temperatur, der Ladezustand und die Stromstärke für Forschungszwecke erfasst. Dabei wird ein für solche

Prolonger la vie des batteries

Le sous-projet «Utilisation de batteries neuves», sous la direction de la professeure Priscilla Caliandro, est consacré à l'amélioration de l'écobilan des batteries grâce à la prolongation de leur durée de vie. Si chaque batterie se dégrade et perd de sa capacité de stockage non seulement à force d'être utilisée, mais aussi simplement au fil du temps, il reste toutefois possible d'influencer son vieillissement.

L'élaboration de stratégies et d'algorithmes basés sur des données doit permettre de maximiser la durée de vie des batteries lithium-ion lors de leur première utilisation dans les vélos (Thömus SA), scooters (La Poste Suisse SA et Kyburz Switzerland SA), chariots élévateurs (Green Cubes Technology), voitures (Mobility Société Coopérative), camionnettes (FPT Motorenforschung SA) et camions électriques (E-Force One SA).

Les batteries doivent être utilisées de manière à répondre aussi longtemps que possible aux besoins de mobilité, tout en générant les coûts d'exploitation les plus bas possibles. Il importe donc de bien comprendre le processus de vieillissement des batteries tout au long de leur durée d'utilisation, et d'identifier les conditions et paramètres qui leur nuisent. Pour les modèles, le projet emploie des données que les partenaires de mise en œuvre enregistrent déjà depuis plusieurs années. Ces données sont analysées dans le but de développer des modèles de description du vieillissement des batteries

Nutzungsdaten entwickeltes statistisches Konzept verwendet. Vorteile des Konzeptes sind ein über die gesamte Laufzeit konstanter Speicherplatz sowie eine unmittelbare Anonymisierung der aufgezeichneten Daten. Rückschlüsse darauf, welche Strecke gefahren wurde, sind damit nicht möglich. Zudem wird die Rechenzeit für das Data-Preprocessing in der späteren Analyse deutlich reduziert, weil es schon im Batteriemanagementsystem (BMS) und vor der Übermittlung an den Server an der BFH durchgeführt wird. Daraus resultiert ein schlankes und kostengünstiges System, das auch in weniger leistungsfähigen BMS implementiert werden kann. Zudem hat es das Potenzial, relevante Daten ohne Datentransfer über die ganze Lebensdauer aufzuzeichnen und die nutzungsbezogenen Parameter für den ab 2026 in der EU erforderlichen digitalen Batterie-Pass [5] festzuhalten.

Anschliessend kombinieren die Forschenden die Daten über die Nutzung im Labor mit einem Alterungsmodell und entwickeln optimale Betriebsstrategien mit KI. Basierend auf dieser Auswertung soll zudem eine Prognose über die künftige Leistungsfähigkeit der Batterien und über deren weitere Lebensdauer (Remaining Useful Life, RUL) erstellt werden. Dies ist für den sicheren Betrieb von Batterien entscheidend und für Geschäftsmodelle zur Zweitnutzung erforderlich. Aktuell wird an einer Verbesserung der Aussagekraft der Vorhersagen und an der Implementierung des Konzeptes in weiteren Anwendungen gearbeitet. Nur mit Kenntnis der relevanten Parameter über die gesamte Nutzungsdauer lässt sich die Batteriealterung verlässlich modellieren und die künftige Leistungsfähigkeit abschätzen.

Vielseitige Einsatzmöglichkeiten

Das Hauptziel des Teilprojektes «Zweitnutzung von Antriebsbatterien aus Fahrzeugen in der Elektrizitätsversorgung» ist die Entwicklung und Implementierung eines flexiblen stationären Energiespeichersystems mit Second-Life-Batterien. Dabei wird von der OST – Ostschweizer Fachhochschule gemeinsam mit dem Industriepartner Indrivetec ein Batteriecontainer mit Second-Life-Batterien aus Elektrofahrzeugen aufgebaut und getestet. Er soll im Netz der BKW betrieben werden und wichtige Daten und Erkenntnisse über den Betrieb von gebrauchten Fahrzeugbatterien liefern.

Die Batterien werden über DC-DC-Konverter auf einen gemeinsamen Bus geführt. Das EMS regelt dabei den Energiefluss für jede Batterie individuell und bildet die Schnittstelle zu einem bidirektionalen Wechselrichter, der mit dem Netz verbunden ist. Die Heizung, Kühlung sowie der Brandschutz vom Batteriespeicher werden über ein übergeordnetes System gesteuert und angezeigt.

Das System ist skalierbar. Es soll nicht nur im Forschungsprojekt genutzt werden, sondern auch kommerzielle Anwendungen unterstützen können. Damit es für Netzbetreiber attraktiv wird, muss es technische und wirtschaftliche Vorteile bieten. Dazu gehören die Vermeidung von Kosten für Ausgleichsenergie, die Teilnahme am Regelenergiemarkt sowie Peak-Shaving für Solar- und Windkraft.

basés sur le big data et l'apprentissage automatique. Les stratégies qui en découlent sont utilisées et testées dans le cadre du projet sur un camion et des vélos électriques.

En outre, un modèle de données statistiques doit permettre de décider rapidement, à moindres frais et en se basant sur la technologie, si et quand une batterie doit passer de la première à la seconde utilisation. Cette décision dépend de la valeur résiduelle (en CHF) de la batterie ainsi que d'autres facteurs tels que, par exemple, les prestations de garantie ou les prescriptions de sécurité pour l'utilisation de seconde vie. L'équipe de la Haute école spécialisée bernoise BFH étudie aussi le vieillissement des batteries sur la route. Elle saisit par exemple sur les vélos électriques des données pertinentes de la batterie telles que la température, le niveau de charge et l'intensité de courant, à des fins de recherches. Pour ce faire, un concept statistique développé spécialement pour ce type de données d'utilisation est employé. Ses avantages sont un espace de stockage toujours constant et une anonymisation immédiate des données enregistrées. Il est de ce fait impossible de déterminer les trajets qui ont été effectués. De plus, le temps de calcul nécessaire au prétraitement des données lors de l'analyse ultérieure se voit nettement réduit, car il est déjà effectué dans le système de gestion de la batterie (Battery Management System, BMS) avant la transmission des données au serveur de la BFH. Il en résulte un système simple et peu onéreux, qui peut aussi être implémenté dans des BMS moins performants. Ce système a aussi le potentiel d'enregistrer les données pertinentes sans transfert de données sur toute la durée de vie du véhicule et de consigner les paramètres d'utilisation pour le passeport batterie numérique requis au sein de l'UE à partir de 2026 [5].

L'équipe de la BFH combinera ensuite les données d'utilisation en laboratoire avec un modèle de vieillissement et développera des stratégies d'exploitation optimales à l'aide de l'IA. Sur la base de cette évaluation, il est également prévu d'établir un pronostic quant à la performance future des batteries et à leur durée de vie résiduelle (Remaining Useful Life, RUL). Il s'agit là d'un élément déterminant pour garantir une exploitation sûre des batteries, et indispensable pour les modèles d'affaires de seconde utilisation. L'équipe s'efforce actuellement d'améliorer la pertinence des pronostics et examine l'implémentation du concept dans d'autres applications. Seule la connaissance des paramètres appropriés sur toute la durée d'utilisation permettra de modéliser de manière fiable le vieillissement des batteries et d'estimer leur performance à l'avenir.

De multiples possibilités d'utilisation

Le principal objectif du sous-projet «Seconde utilisation de batteries de traction de véhicules dans l'approvisionnement électrique» consiste à développer et à implémenter un système de stockage d'énergie stationnaire flexible utilisant des batteries de seconde vie. En collaboration avec le partenaire industriel Indrivetec, la Haute école spécia-

Neben der vielseitigen Einsatzmöglichkeit ist auch die Flexibilität dieses Second-Life-Batteriespeichers wichtig. Es können verschiedene Batterietypen mit unterschiedlichen Eigenschaften wie SOH, Batteriespannung sowie auch Lade- und Entladeleistungen verbaut werden. Dazu wurde von der OST ein bidirektionaler, galvanisch getrennter DC-DC-Konverter (50 kW) entwickelt, der Effizienzen von über 99 % erreicht. Mit ihm können Batterien aus verschiedenen Elektrofahrzeugen im Batteriecontainer verbaut werden, die unterschiedliche chemische Zusammensetzungen und technische Spezifikationen aufweisen.

Durch ein ausgeklügeltes EMS werden die individuellen Eigenschaften und SOH-Werte der Batterien überwacht und optimal aufeinander abgestimmt, um die Lebensdauer des gesamten Speichers zu maximieren und die Ressourceneffizienz zu steigern.

Vor ihrem zweiten Einsatz müssen Batterien geprüft und charakterisiert werden, um sicherzustellen, dass sie für eine Zweitnutzung geeignet sind. Dies umfasst die Analyse ihrer Restkapazität, Leistungsfähigkeit und Lebensdauer. Diese zeitintensive und teure Charakterisierung wird im Teilprojekt «Second Life Operation» untersucht.

Herausforderungen und Zukunftsperspektiven

Trotz ihrer Vorteile stehen Second-Life-Batteriespeicher vor einigen Herausforderungen. Für ihre Zertifizierung fehlt es heute an Standards, die die Sicherheit und Qualität dieser Speicher gewährleisten. Zudem braucht es technologische Fortschritte und Know-how, welche die flexible und einfache Integration von gebrauchten Batterien in bestehende Systeme vorantreibt, damit sie wirtschaftlich betrieben werden können. Auch die Frage nach Garantien für einen zuverlässigen und sicheren Betrieb ist noch offen und kann dazu führen, dass neue Batterien in stationären Energiespeichern eingesetzt werden. Diesbezüglich kann Know-how aus anderen Teilprojekten zur Verbreitung von Second-Life-Batteriespeichern beitragen.

Aktuell sind gebrauchte Batterien nur schwer auf dem Markt erhältlich, wodurch ihre Preise hoch sind. Dies erschwert einen wirtschaftlichen Aufbau und Betrieb eines solchen Speichers. Deshalb befasst sich CircuBAT auch mit marktwirtschaftlichen und sozio-ökonomischen Aspekten der Integration von innovativen technischen Lösungen, um Nachhaltigkeits-Hotspots zu identifizieren und Geschäftsmodelle im Schweizer Markt mit Simulationen zu evaluieren.

Batterien nachhaltiger nutzen

CircuBAT profitiert von der Synergie der einzelnen Teilprojekte, um die Lebensdauer von Batterien zu verlängern, ihre Umweltauswirkungen zu minimieren, das Batterie-Know-how in der Schweiz zu vergrössern und den Ansatz der Kreislaufwirtschaft in der Elektromobilität zu stärken. Ein vertieftes Verständnis der Batteriealterung und praxisorientiertes Datenmanagement versprechen vielfältige Anwendungen, welche durch eine Bestimmung

lisée de la Suisse orientale (OST) construit et teste un container de batteries avec des batteries de seconde vie issues de véhicules électriques. Il est prévu que ce container soit utilisé dans le réseau de BKW et fournisse des données et des enseignements précieux sur l'exploitation des batteries de véhicule usagées.

Les batteries sont contrôlées par un bus commun, via un convertisseur DC-DC. Le système de gestion de l'énergie (Energy Management System, EMS) régule le flux d'énergie individuellement pour chaque batterie et forme l'interface avec un onduleur bidirectionnel connecté au réseau. Le chauffage, le refroidissement et la protection anti-incendie du système de stockage par batterie sont commandés et affichés via un système super-ordonné.

Le système est évolutif. Son utilisation ne doit pas se limiter au projet de recherche, mais doit s'étendre à des applications commerciales. Le système est tenu d'offrir des avantages techniques et économiques pour pouvoir séduire les gestionnaires de réseaux. Au nombre de ces avantages figurent l'absence de coût pour l'énergie de compensation, la participation au marché de l'énergie de réglage ainsi que l'écrêtement des pics (« peak shaving ») pour l'énergie solaire et éolienne.

La polyvalence et la flexibilité de ce système de stockage d'énergie revêtent une grande importance. Il est ainsi possible d'installer divers types de batteries avec différentes caractéristiques (SOH, tension de la batterie, puissances de charge et de décharge, etc.). Pour ce faire, l'OST a développé un convertisseur DC-DC (50 kW) bidirectionnel à isolation galvanique, qui atteint un niveau d'efficacité de plus de 99 %. Ce convertisseur permet d'installer dans le container des batteries issues de divers véhicules électriques, avec différentes compositions chimiques et spécifications techniques.

Un EMS sophistiqué surveille les caractéristiques individuelles et les valeurs SOH des batteries, et les adapte au mieux pour maximiser la durée de vie de l'ensemble du système de stockage et améliorer l'efficacité des ressources.

Avant leur seconde utilisation, les batteries doivent toutefois être vérifiées et caractérisées pour garantir qu'elles se prêtent à une seconde vie. Cela comprend, entre autres, l'analyse de leur capacité résiduelle, de leur performance et de leur durée de vie. Cette caractérisation longue et coûteuse est étudiée dans le sous-projet « Second Life Operation ».

Défis et perspectives d'avenir

Malgré leurs avantages, les systèmes de stockage d'énergie utilisant des batteries de seconde vie sont confrontés à un certain nombre de défis. Il manque aujourd'hui, pour leur certification, de normes garantissant leur qualité et leur sécurité. Par ailleurs, pour permettre une exploitation rentable, des progrès technologiques et un savoir-faire favorisant une intégration simple et flexible des batteries usagées dans des systèmes existants sont nécessaires. La question relative à la garantie d'un fonc-

des Residualwertes von Batterien auch den Occasionsfahrzeugmarkt stärken werden. Die Realisierung eines stationären Energiespeichersystems auf Basis von Second-Use-Batterien ist zudem ein bedeutender Schritt in Richtung nachhaltiger Energienutzung und Kreislaufwirtschaft.

Referenzen | Références

- [1] «Global EV Outlook 2024 - Moving towards increased affordability», IEA. www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024
- [2] «BATRAW Periodic Reporting for period 1», CORDIS | European Commission. cordis.europa.eu/project/id/101058359/reporting
- [3] C. Bucher, Photovoltaikanlagen: Planung, Installation, Betrieb, 1. Auflage, Faktor, 2021.
- [4] L. C. Casals, B. A. García, F. Aguesse, A. Iturrondobeitia, «Second life of electric vehicle batteries: relation between materials degradation and environmental impacts», Int J Life Cycle Assess, Bd. 22, Nr. 1, S. 82–93, Jan. 2017. doi: 10.1007/s11367-015-0918-3
- [5] Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC.

Autoren | Auteurs

Viktor Hangartner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der BFH | est collaborateur scientifique à la Haute école spécialisée bernoise BFH.

→ BFH, 2503 Biel
→ viktor.hangartner@bfh.ch

Simon Nigsch ist Dozent und Bereichsleiter der elektrischen Energiesysteme am Institut für Energiesysteme IES der OST | est chargé de cours et responsable du secteur Systèmes énergétiques électriques à l'Institut de systèmes énergétiques IES de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST.

→ OST, 9471 Buchs
→ simon.nigsch@ost.ch

Prof. Dr. **Priscilla Caliandro** leitet das Zentrum für Energiespeicherung der BFH | dirige le Centre pour le stockage de l'énergie de la Haute école spécialisée bernoise BFH.

→ priscilla.caliandro@bfh.ch

Prof. Dr. **Andrea Vezzini** leitet das Innosuisse Flagship CircuBAT | dirige le Flagship Innosuisse CircuBAT.

→ andrea.vezzini@bfh.ch

tionnement fiable et sûr demeure également ouverte et pourrait amener à utiliser des batteries neuves dans les systèmes de stockage d'énergie stationnaires. Dans ce contexte, le savoir-faire tiré d'autres sous-projets pourrait contribuer à la propagation des systèmes de stockage d'énergie composés de batteries de seconde vie.

Actuellement, les batteries usagées constituent une denrée rare sur le marché, ce qui explique leurs prix élevés. Cela complique la réalisation et l'exploitation de ce type de systèmes de stockage d'énergie dans de bonnes conditions de rentabilité. C'est pourquoi le projet CircuBAT se penche aussi sur les éléments relatifs à l'économie de marché et sur les aspects socioéconomiques de l'intégration de solutions techniques innovantes, dans le but d'identifier des « hotspots » en termes de durabilité et d'évaluer, par le biais de simulations, des modèles d'affaires sur le marché suisse.

Faire un usage plus durable des batteries

Le projet CircuBAT profite de la synergie entre les différents sous-projets pour prolonger la durée de vie des batteries, minimaliser leur impact environnemental, accroître le savoir-faire suisse en matière de batteries, et renforcer l'économie circulaire dans le secteur de la mobilité électrique. Comprendre en profondeur le vieillissement des batteries et gérer les données selon une approche axée sur la pratique promettent de nombreuses applications qui, grâce à une détermination de la valeur résiduelle des batteries, renforceront également le marché des véhicules d'occasion. La réalisation d'un système de stockage d'énergie stationnaire basé sur des batteries de seconde main constitue en outre un pas important dans le sens de l'économie circulaire et d'une utilisation durable de l'énergie.