

STROMSPEICHER MACHEN SICH ZWEIMAL NÜTZLICH

Der starke Ausbau der Elektromobilität führt mittelfristig zu einem grossen Rücklauf gealterter Batterien aus Elektroautos. Diese Stromspeicher haben ihre ursprüngliche Leistungsfähigkeit eingebüsst, die Mehrheit der darin enthaltenen Batteriezellen ist aber weiterhin intakt. Diese können für den Bau sogenannter Second-Life-Batterien verwendet werden. Bevor Batteriezellen in einem zweiten Lebenszyklus genutzt werden können, muss ihr Zustand («State of Health»/SoH) bestimmt werden. Ein Forschungsteam aus Neuenburg hat in Zusammenarbeit mit einem Zürcher Industriepartner nach effizienten Messverfahren gesucht.



Das Innenleben einer Second-Life-Batterie, die die Züricher Firma Libattion unter dem Namen 'e-Brick' verkauft: Die 196 Batteriezellen stammen aus E-Bikes und ermöglichen eine Speicherkapazität von etwa 2.5 kWh. Zum Vergleich: Die Batterie eines Elektrofahrrades besteht typischerweise aus 50 Zellen mit einer Speicherkapazität von rund 0,5 kWh. Foto: Libattion

Die Zahl der Elektroautos auf Schweizer Strassen wächst stetig. Die Fahrzeuge beziehen ihre Antriebsenergie in aller Regel aus einer Lithium-Ionen-Batterie. Deren Lebensdauer ist auf 10 bis 15 Jahre beschränkt, denn im Laufe der Zeit schwindet die Ladekapazität. Kann eine Batterie nur noch 80 Prozent der ursprünglichen Strommenge speichern, gilt sie als so weit gealtert, dass der Einsatz im Strassenverkehr nicht mehr sinnvoll erscheint. Denn das Elektroauto hat in diesem Fall empfindlich an Reichweite eingebüsst, beispielsweise von 500 auf 400 Kilometer.

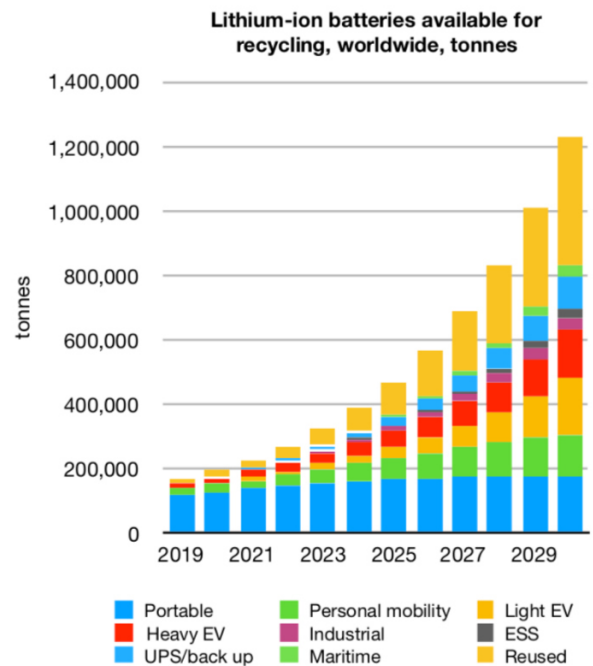
Zwei Drittel der Zellen sind intakt

Die Batterie eines Elektroautos besteht in der Regel aus mehreren Tausend elektrochemischen Speicherzellen. Verfügen die Batterien über ein Temperaturmanagement, hat das zur Folge, dass die Zellen in ähnlicher Geschwindigkeit altern. Anders ist das bei Batterien von E-Bikes: Die 50 Zellen, die darin typischerweise verbaut sind, werden weder geheizt noch gekühlt und altern daher sehr unterschiedlich. So altern beispielsweise Batteriezellen, die einem Wärmestau ausgesetzt sind, sehr stark. Die Erfahrungen zeigen, dass bei ausgemusterten E-Bike-Batterien zwei Drittel der Zellen noch über 80 Prozent ihrer Speicherkapazität besitzen. Diese können zu neuen Batterien zusammengebaut werden. So entstehen Second-Life-Batterien, die für stationäre Anwendungen (z.B. die Speicherung von Solarstrom) oder für den neuerlichen Einsatz im Mobilitätsbereich herangezogen werden.

Second-Life-Anwendungen von Batterien werden seit Jahren erprobt und praktiziert. Im Rahmen eines BFE-Pilotprojekts nutzte die Schweizerische Post die Batterien ausgemusterter



Ein Second-Life-Speicher von Libattion aus E-Bike-Batteriezellen wiegt 12 kg. Libattion stellt auch Second-Life-Batteriespeicher aus wiederverwerteten Autobatterien her. Fünf Autobatterien à 20 kWh Ladekapazität ergeben einen Speicher von 100 kWh. Foto: Libattion



Die Menge der Batterien, die für eine Wiederverwertung in Second-Life-Speichern in Frage kommen, wird in den nächsten Jahren stark zunehmen. Grafik: Circular Energy Storage

Elektroroller zeitweilig für den Bau stationärer Speicher für Solarstrom. Eine Schweizer Herstellerin von Second-Life-Batterien ist die Dreifels AG in Gelterkinden (BL). Sie hat in den letzten Jahren gut ein Dutzend Speicher aus Second-Life-Batterien produziert, indem sie die Batterien aus elektrisch motorisierten Twike-Liegerädern nutzte. «Wir haben eine standardisierte Lösung für Kapazitäten von 6 bis 30 kWh entwickelt, die den gespeicherten Solarstrom als Wechselstrom ins Hausnetz einspeist», sagt Dreifels-Geschäftsleiter Ralph Schnyder. «Da die Second-Life-Zellen bei einer hohen Spannung von 385 Volt arbeiten, kommen die Batterien praktisch ohne Umwandlungsverluste aus.»

Passende Schnittstellen

Auch die Libattion AG in Glattbrugg (ZH) hat sich dem Bau von Second-Life-Batterien verschrieben. Die Brüder Stefan und Nicolas Bahamonde haben die Firma 2018 gegründet. Sie stellt Stromspeicher hauptsächlich aus intakten Zellen ausgedienter E-Bike-Batterien her. Letztere werden bei der Verwertungsgesellschaft BATREC in Wimmis (BE) auseinandergenommen, die einzelnen Zellen dann getestet und schliesslich in Glattbrugg zu Second-Life-Batterien verbaut. «Batteriezellen mit einer Ladekapazität von 90 und mehr Prozent nutzen wir für Gabelstapler, Cargobikes und andere leichte Elektrofahrzeuge; aus Zellen mit 75 bis 90 Prozent La-



Die Libattion-Gründer Bertrand Schutz (CFO), Nicolas Bahamonde (CTO) und Stefan Bahamonde (CEO) (v.l.n.r.). Das Unternehmen beschäftigt 15 Personen und wird im Jahr 2022 einen Umsatz von rund 2 Millionen Franken erzielen. Der Baselbieter Stromversorger EBL steht dem Jungunternehmen als Investor zur Seite. Foto: Libattion

dekapazität bauen wir stationäre Speicher für Photovoltaikstrom», sagt Libattion-Geschäftsführer Stefan Bahamonde. Abnehmer der Second-Life-Batterien sind rund 30 Gewerbetreibende.

Die Verwendung einer Second-Life-Batterie in einem Elektrofahrzeug ist nicht so einfach wie der Batteriewechsel bei einer Taschenlampe. Die Batterie muss exakt auf die technischen Anforderungen des Elektromotors abgestimmt sein, zudem muss der Informationsaustausch durch geeignete Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle sichergestellt werden. Dank entsprechender Auslegung des Batteriemanagementsystems kann Libattion die relevanten Daten der Second-Life-Batterien während des Betriebs erfassen und den Nutzern der Batterien zur Verfügung stellen. Libattion weiss



Eine Testbank, mit der Gebrauchtbatterien von E-Bikes auf ihre Leistungsfähigkeit untersucht werden. Foto: CSEM

dadurch, wenn eine Batterie eine Störung hat oder ersetzt werden muss. Damit die Integration der Second-Life-Speicher gelingt, entwickelt die Libattion AG ihre Batterien in Zusammenarbeit mit den Herstellern der Fahrzeuge, in denen die Batterien eingesetzt werden.

Testzeit verkürzen

Grundlage jeder Second-Life-Batterie sind intakte Gebrauchtzellen mit einer hinreichenden Speicherkapazität. Dazu muss jede Batteriezelle vor der Second-Life-Nutzung getestet und die verbleibende Ladekapazität bestimmt werden. Um die Kapazität zu eruieren, kann man eine Batteriezelle vollständig entladen und anschliessend während des Ladevorgangs Ladestrom und -zeit messen, woraus sich die Ladekapazität ergibt. Allerdings nimmt dieses Verfahren vier bis acht Stunden pro Batteriezelle in Anspruch. «Angesichts der Vielzahl von Zellen, die gemessen werden müssen, ist das relativ lange. Daher haben wir in einem Forschungsprojekt untersucht, wie sich die Zeit von mehreren Stunden auf einige Minuten verkürzen lässt», sagt Dr. Andreas Hutter, Gruppenleiter am Forschungs- und Entwicklungszentrum CSEM in Neuenburg.

Das vom BFE unterstützte Projekt suchte nach Wegen, wie sich die Ladekapazität einer Gebrauchtzelle indirekt bestimmen lässt – also ohne Messung des Ladestroms während der gesamten Ladezeit. Grundlage des Projekts bildeten 500 gebrauchte Lithium-Ionen-Batteriezellen aus Elektrofahrrädern. Die beteiligten Forscher konnten zeigen, dass sich die Ladekapazität mit drei Verfahren in kurzer Zeit zwar nicht exakt bestimmen, aber ziemlich genau abschätzen lässt. Beim ersten Verfahren wird der Innenwiderstand der Batteriezelle bestimmt, beim zweiten Verfahren die Effizienz des Ladevorgangs während eines kurzen Zeitabschnitts. Das dritte Verfahren misst ebenfalls den Batteriewiderstand, allerdings nicht mit Gleichstrom, sondern durch Anlegen einer Wechselspannung (Verfahren der elektrochemischen Impedanzspektroskopie/EIS).

Drei Verfahren und ihre Vorzüge

Die CSEM-Forscher konnten zeigen, dass alle drei Verfahren in der Lage sind, die Kapazität der gebrauchten Batteriezellen in weniger als einer Stunde mit guter Genauigkeit (Schätzfehler unter 2.5 %) zu bestimmen. Jedes Verfahren hat seine Vorzüge: Die Messung des Innenwiderstands war mit lediglich acht Minuten Dauer pro Batteriezelle das schnellste. Das effizienzbasierte Verfahren war besonders robust, war also für alle untersuchten Typen von Lithium-Ionen-Zellen gleich



Klimakammer zur Untersuchung von Batteriezellen am CSEM in Neuenburg. Die Temperatur kann zwischen -45°C und $+180^{\circ}\text{C}$ eingestellt werden. Die Klimakammer hilft dabei, die Batteriezellen unter kontrollierten Umweltbedingungen zu testen. Alle Tests im Rahmen des BAT4SEL-Projekts wurden bei 20°C durchgeführt. Foto: CSEM

verlässlich. Hinsichtlich Genauigkeit schwang das EIS-Verfahren obenauf, wobei die Messung des Innenwiderstands in dieser Hinsicht gleich gut abschnitt. Nachteilig ist beim EIS-Verfahren der relativ hohe Aufwand für das Messequipment und die vergleichsweise lange Messzeit.

«Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die effizienz-basierten Indikatoren den besten Kompromiss für eine präzise und schnelle SoH-Schätzung von den im Projekt untersuchten gebrauchten Li-Ionen-Zellen darstellen», konstatieren die Autoren im BFE-Schlussbericht. Sie ergänzen: «Die Wahl des am besten geeigneten Indikators hängt jedoch davon ab, welcher Aspekt für den Endanwender am wichtigsten ist: Schätzgenauigkeit, Robustheit (konsistente Korrelationen zwischen den Zelltechnologien), Testzeit sowie auch die Anwendbarkeit auf den existierenden Maschinenpark.»

Alternativen zum Testverfahren

Das verkürzte Testverfahren könnte in Zukunft bei Libattion zur Anwendung kommen, wenn die Zahl der wiederverwerteten Batteriezellen stark zunimmt. «Wir wollen das innovative Verfahren ausgehend von den validierten Ergebnissen weiter entwickeln und industrialisieren, sobald uns die erforderlichen Mittel zu Verfügung stehen», sagt Libattion-Mitgründer Nicolas Bahamonde. Absehbar ist zugleich, dass eine aufwändige Bestimmung des «State of Health» für grössere Gebrauchtbatterien in Zukunft womöglich gar nicht mehr er-

VIELE ZELLEN, EINE BATTERIE

Die Batterie eines E-Bikes besteht typischerweise aus 50 Batteriezellen. Diese haben eine zylindrische Form, bei einem Durchmesser von 18 mm und einer Länge von 65 mm. 50 Zellen mit ca. 13 Wh Speicherkapazität verleihen der Batterie eine Kapazität von um die 500 Wh (oder 0,5 kWh). Batterien für Elektroautos müssen weit mehr Energie aufnehmen können. Hier ermöglichen 2000 bis 5000 zylindrische Zellen herkömmlicherweise Kapazitäten von 20 bis 50 kWh.

Heutige Elektroautos haben Kapazitäten von 100 kWh und mehr. Dies ist unter anderem möglich dank Einsatz besonders leistungsfähiger Batteriezellen. Zunehmend verwenden E-Autos Batterien, die nicht aus zylindrischen Zellen bestehen, sondern aus prismatischen Zellen. Während bei zylindrischen Zellen die Elektroden gewickelt sind, sind sie bei prismatischen Zellen gestapelt oder gefaltet, womit letztere statt einer zylindrischen eine kubische Form aufweisen. Eine spezielle Bauform prismatischer Zellen sind Pouchzellen. Sie kommen ohne starres Aussengehäuse aus und haben daher ein geringeres Gewicht, aber auch eine geringere Festigkeit. Während der Autobauer Tesla nach wie vor zylindrische Zellen verwendet, setzen europäische Autohersteller verstärkt prismatische oder Pouchzellen ein. BV

forderlich sein wird. Die Entwicklung geht nämlich dahin, Batterien von E-Autos elektronisch so aufzurüsten, dass Ladekapazität und weitere Kennzahlen während des Betriebs laufend bestimmt und aufgezeichnet werden. Dies zu erreichen ist ein Teilziel des Innosuisse-Flagship-Projekts CircuBAT, das im Frühjahr 2022 gestartet ist und an dem neben dem CSEM sechs weitere Forschungseinrichtungen und 24 Unternehmen beteiligt sind.

- **Auskünfte** zum Forschungsprojekt BAT4SEL erteilt Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Batterien.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Batterien unter www.bfe.admin.ch/ec-publikationen.