

# Second-Life-Batteriespeichersysteme für eine klimaverträgliche Zukunft

Wie ausgemusterte Batterien zur Energiewende und Kreislaufwirtschaft beitragen.



**Abb. 1:** Encore Batteriespeichersysteme – links: Leistung bis zu 65 kW und Kapazität bis zu 120 kWh; rechts: Leistung bis zu 30 kW und Kapazität bis zu 60 kWh  
Quelle: DB Bahnbaugruppe

ILMA BOJADZIC | ROMAN WANGELOW

**Elektrofahrzeuge erfreuen sich immer größerer Beliebtheit und verdrängen Autos mit Verbrennungsmotor. In den neuen E-Fahrzeugen haben sich effiziente Lithium-Ionen-Batterien als Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität etabliert. Deren Lebens- und Kapazitätsdauer ist begrenzt, daher tauschen viele Hersteller die Batterien bei ca. 70 % der ursprünglichen Speicherkapazität aus. Auf die Frage: „Wohin mit diesen alten Batterien?“ hat die DB Bahnbaugruppe, eine Tochterfirma der Deutschen Bahn AG (DB), mit dem Start-up Encore die passende Antwort gefunden. Dieses fördert und entwickelt alternative Energiesysteme und trägt so dazu bei, Emissionen zu verringern und die Energiewende voranzutreiben. Ein Beispiel ist die Entwicklung von Second-Life-Batteriespeichern, die nun auf den Markt kommen.**

## Batterien aus der Elektromobilität

Der Straßenverkehr ist laut Bundesumweltministerium mit über 70 % an dem klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß maßgeblich beteiligt. Die Abgeordneten im Europäischen Parlament haben daher im Juni 2022 beschlossen, dass

ab 2035 nur noch emissionsfreie Neuwagen zugelassen werden. Ziel der Bundesregierung ist es, dass schon im Jahr 2030 7 bis 10 Mio. Elektrofahrzeuge auf den Straßen Deutschlands unterwegs sein sollen, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 40 % im Vergleich zu 1990 zu reduzieren [1].

Für Nutzer der E-Fahrzeuge ist die Batteriekapazität von hoher Relevanz, da sie zusammen mit dem Stromverbrauch die Reichweite des Fahrzeugs bestimmt. Die Kapazität sinkt jedoch mit zunehmendem Alter und ist abhängig von der Ladeart und Anzahl der Ladezyklen, dem Klima oder auch dem individuellen Fahrstil. Ist die Batterie für den Einsatz im Fahrzeug zu schwach, wird sie von den Herstellern getauscht. Laut einer ADAC-Studie soll die Abnahme der Kapazität auf 70 % erst nach etwa 200 000 km – hochgerechnet nach zehn Jahren [2] erfolgen. Die Hersteller haben sich – mit wenigen Ausnahmen – auf eine Batteriegarantie von acht Jahren und 160 000 km geeinigt.

Nach Angaben des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) hat sich der Bestand an Pkw mit reinem Elektroantrieb (BEV) zwischen 2012 und 2022 von 4500 bereits auf 618 460 erhöht [3]. Es ist davon auszugehen, dass dieser Trend weiter stark voranschreitet und somit auch entsprechend viele gebrauchte Batterien zur Wiederverwendung anfallen werden.

## E-Batterien finden ein zweites Leben als Energiespeicher

Die Batterien sind zwar für den weiteren Einsatz im Fahrzeug zu schwach, haben aber noch ausreichend Power für ein zweites Leben – ein sogenanntes „Second Life“ – in einem anderen Anwendungsgebiet.

Encore nimmt Herstellern von elektrisch betriebenen Fahrzeugen, wie z. B. E-Pkw, E-Bussen oder batterieelektrischen Zügen (BEMU), die gebrauchten Batterien ab und nutzt dafür das Logistiknetzwerk der DB. Die Batterien werden von Batteriepack- auf Batteriemodulebene demontiert und einer Sicherheits- und Qualitätsanalyse unterzogen. Die Batteriemodule werden dann mithilfe eines Battery Analyzers auf Basis der Impedanzspektroskopie auf ihre Restkapazität geprüft. Batteriemodule mit ausreichender Restkapazität werden für die Fertigung von Second-Life-Batteriespeichersystemen wiederverwendet. Schwache Batteriemodule werden aussortiert und fachgerecht recycelt. Bei dem Recycling werden die Batteriemodule erst geschreddert und dann in einem chemischen oder thermischen Verfahren in die Einzelrohstoffe aufgespalten, die für die Herstellung von neuen Batteriemodulen wieder in den Kreislauf gebracht werden.

Derzeit gibt es zwei Produktvarianten: ein kleines Batteriespeichersystem (Leistung bis

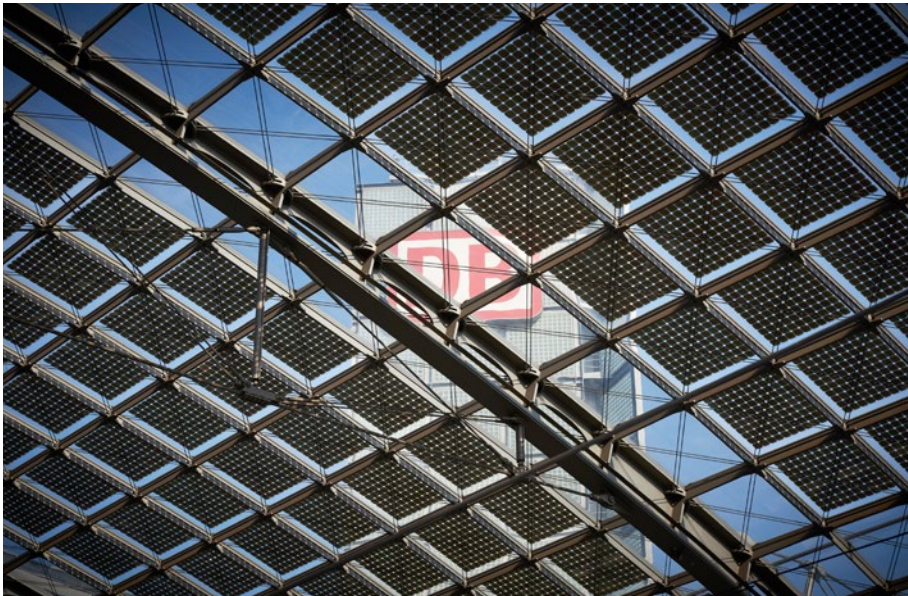


Abb. 2: Photovoltaikanlage am Berliner Hauptbahnhof

Quelle: Deutsche Bahn AG / Faruk Hosseini

zu 30 kW und Kapazität bis zu 60 kWh) für Kunden mit geringerem Energiebedarf (Abb. 1 links) und ein größeres Batteriespeichersystem (Leistung bis zu 65 kW und Kapazität bis zu 120 kWh), welches modular erweiterbar ist und dadurch Energie im Megawattstunden-

Bereich speichern kann (Abb. 1 rechts). Das kleine Batteriespeichersystem könnte ein Einfamilienhaus mit vier Personen ca. fünf Tage autark mit Strom versorgen und das große Batteriespeichersystem entsprechend doppelt so lange. Durch die Nutzung von ge-

brauchten Batteriemodulen entsteht für die Kunden ein attraktiver Preisvorteil gegenüber Neubatterien.

### Ein konkreter Beitrag zur Energiewende

Die Nachfrage nach Speichermöglichkeiten für erneuerbare Energien steigt, so könnten die Second-Life-Batteriespeichersysteme z.B. Strom aus Photovoltaikanlagen (Abb. 2) tagsüber speichern und an Tagesrandzeiten wieder zur Verfügung stellen. Sie könnten beispielsweise auch helfen, den hohen Energiebedarf von Instandhaltungs- und Bereitstellungswerken der DB über den Tag zu verteilen, um dadurch Kosten für Stromspitzen einzusparen.

Die Vorteile des Speichersystems können grundsätzlich allen Unternehmen nützen, die einen hohen Energiebedarf haben und auf erneuerbare Energien setzen.

Das erste Batteriespeichersystem wurde im Juli 2022 am EUREF-Campus in Berlin (Abb. 3) angeschlossen und fungiert dort als Teil der Micro Smart Grid, ein Stromnetz, in dem unterschiedliche Energiequellen, Verbraucher und Speicher intelligent verknüpft sind. Ziel ist es, das öffentliche Netz durch planbare Energieflüsse zu entlasten und den Anteil erneuerbarer Energien am Campus zu steigern. Weitere Batteriespeichersysteme sollen 2022 folgen, bevor sie 2023 in Serie gefertigt und vertrieben werden.



Besuchen Sie uns in der Halle 21, Stand 230



Höhenverstellbare Schienenbefestigung bis 29 mm – die revolutionäre Lösung für die Instandhaltung von Übergangszonen mit Schwellenhohllagen an Brücken, Bahnübergängen und Isolierstößen.



WE MAKE THE WORLD A BIT MORE QUIET

## Entwickelt für Deutschland – Weltweit im Einsatz

VICON AMSA Schienenstegdämpfer – Not a vision but reality

Wertschöpfung durch Mehrwert

- Made in Germany
- Nachhaltig
- Zertifiziert





**Schrey & Veit**  
Shock, Vibration & Noise Control

Schrey & Veit GmbH  
Graf-von-Sponheim-Str. 2  
55756 Sprendlingen / GERMANY  
Tel.: +49 (0) 6701 205 84-0 • [www.sundv.de](http://www.sundv.de)







Abb. 3: Encore Batteriespeichersystem am Digitalen Testfeld in Scheibenberg

Quelle: PS Media Point / Maurice Martin

Mit der Produktion alternativer Energiesysteme stellt sich die DB Bahnbaugruppe nicht nur breiter in ihrem Produktportfolio auf, sondern leistet auch einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der Energiewende.

**Kreislaufwirtschaft fördern und Nachhaltigkeit steigern**

Die Batterie macht bei Elektrofahrzeugen ungefähr 40 % der Wertschöpfung aus und ist entsprechend wichtig für die Nachhaltigkeit. Deswegen fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klima (BMWK) auch die klimaverträgliche Produktion von Batterien in Deutschland. Dabei soll der gesamte Lebenszyklus der Batteriezelle nachhaltig gestaltet

und eine intelligente Nachnutzung sowie die Rückgewinnung der wertvollen Rohstoffe durch Recycling sichergestellt werden [4]. Der steigende Bedarf an nachhaltigen Mobilitätskonzepten macht eine (Weiter-)Entwicklung der Batterietechnologie unabdingbar. Gleichzeitig ist auch die Kreislaufwirtschaft der Batterien in Form nachgelagerter Anwendungsszenarien und Wertstoffrückführung von enormer Bedeutung, um deren Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Indem die Lebensdauer der Batterien verlängert und im Entsorgungsfall fachgerechtes Recycling sichergestellt wird, müssen auch weniger neue Primärrohstoffe für die Produktion von Batteriespeichersystemen gewonnen werden. Inso-

fern bietet Encore einen innovativen Ansatz im Ressourcenschutz.

**Funktionsweise der Batteriespeichersysteme und -module**

Ein Batteriespeichersystem besteht aus dem Batteriespeicher sowie der zugehörigen Leistungselektronik, die den Gleichstrom aus dem Batteriespeicher in den Wechselstrom des angeschlossenen Stromnetzes umwandelt. Der Batteriespeicher selbst besteht aus Batteriemodulen, einem Batteriemanagementsystem (BMS), Verkabelung sowie Gehäuse, Schaltern und Anzeigeelementen (Peripherie). Die Batteriemodule wiederum bestehen aus einer Vielzahl von Batteriezellen-

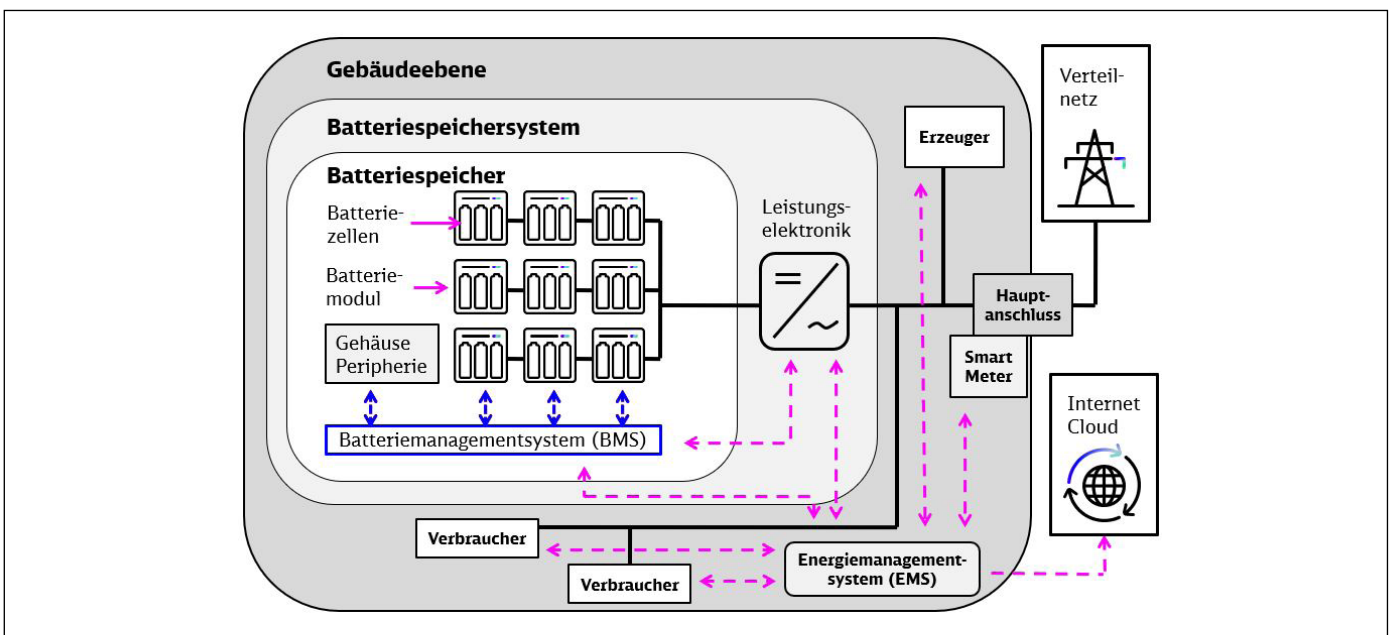


Abb. 4: Blockschaubild Batteriespeichersystem

Quelle: DB Bahnbaugruppe / Roman Wangelow

len, die in Reihe und teilweise auch parallel miteinander verschaltet sind.

In dem Batteriespeichersystem selbst findet zwischen den Komponenten Kommunikation in Form von Steuersignalen, Messsignalen oder einem geeigneten Kommunikationsprotokoll statt. Beispielsweise sendet das BMS Statusinformationen an eine Anzeige am Gehäuse, liest Zellspannungspegel aus oder gibt Informationen zum Betriebsstatus, wie „Batterie betriebsbereit“, an die Leistungselektronik weiter.

Das Batteriespeichersystem ist in der Lage, Strom von Erzeugern wie z.B. Solaranlagen aufzunehmen und zu speichern. Zu den Tageszeiten, an denen ein Unterangebot von erneuerbaren Energien im übergeordneten Verteilnetz herrscht, gibt das Batteriespeichersystem den gespeicherten Strom an die lokalen Verbraucher ab. (Abb. 4)

Um diesen Vorgang zu koordinieren ist ein Energiemanagementsystem (EMS) notwendig. Das EMS erfasst die Betriebszustände der Verbraucher, der Erzeuger, des Batteriespeichersystems und des Verteilnetzes und versucht den Energietransfer zwischen ihnen optimal abzustimmen. Letztlich gibt das EMS der Leistungselektronik Sollwerte vor, damit diese den

Batteriespeicher lädt bzw. entlädt.

Das BMS hat viele Aufgaben zu erfüllen: Der wichtigste Aspekt beim Betrieb eines Batteriespeichersystems ist die Sicherheit. Deswegen erfasst das BMS fortwährend die Zellspannungen aller Batteriezellen, die Betriebstemperatur und die fließenden Ströme.

Das BMS übermittelt die erfassten Daten an das EMS, welches die Daten im Internet auf geeigneten Plattformen speichert. Entsprechend spezialisierte Dienstleister werten die Daten permanent aus und können somit einen sich anbahnenden Fehlerfall erkennen und durch das Fernabschalten des Batteriespeichersystems einen Schaden verhindern. Damit das BMS die gemessenen Daten übermitteln kann, muss eine geeignete Kommunikationsschnittstelle existieren. Ebenso ist eine Kommunikation mit der angeschlossenen Leistungselektronik notwendig.

### Funktionen von BMS

#### Über- und Unterspannungsschutz

Die einzelnen Batteriezellen sind aufgrund von Fertigungstoleranzen oder unterschiedlichen Alterungszuständen nie komplett identisch. Um ein Über- oder Entladen zu ver-

hindern, misst das BMS die Spannung jeder einzelnen Zelle im Batteriespeicher beim Laden oder Entladen.

#### Überstrom- und Kurzschlussstromschutz

Die Batteriezellen besitzen einen spezifizierten Strombereich, mit dem sie geladen und entladen werden dürfen. Werden diese Grenzwerte überschritten, können sie beschädigt werden, was sich z.B. in einer vorschnellen

#### i

##### Einheitenlexikon

Spannung:  $U$  [V – Volt]

Strom:  $I$  [A – Ampere]

Leistung:  $P=U \cdot I$  [ $W=V \cdot A$  – Watt]

Energie:  $E=P \cdot t$  [ $J=W \cdot s$  – Joule;

Wh – Wattstunden; kWh –

Kilowattstunden]

Ladung:  $Q=I \cdot t$  [ $C=A \cdot s$  – Colomb;

Ah – Amperestunden]

Kapazität:  $C=Q/U$  [ $F=C/V=A \cdot s/V$

– Farad]

Energiedichte:  $w=E/m$  [Wh/kg –

Wattstunden je Kilogramm]

**ON TRACK**

**InnoTrans**

**COME & VISIT US**  
**ON STAND 250 - HALL 26**  
 20-23 SEPTEMBER 2022 – BERLIN

**MATISA** 

*la passion du rail*

matisa.ch



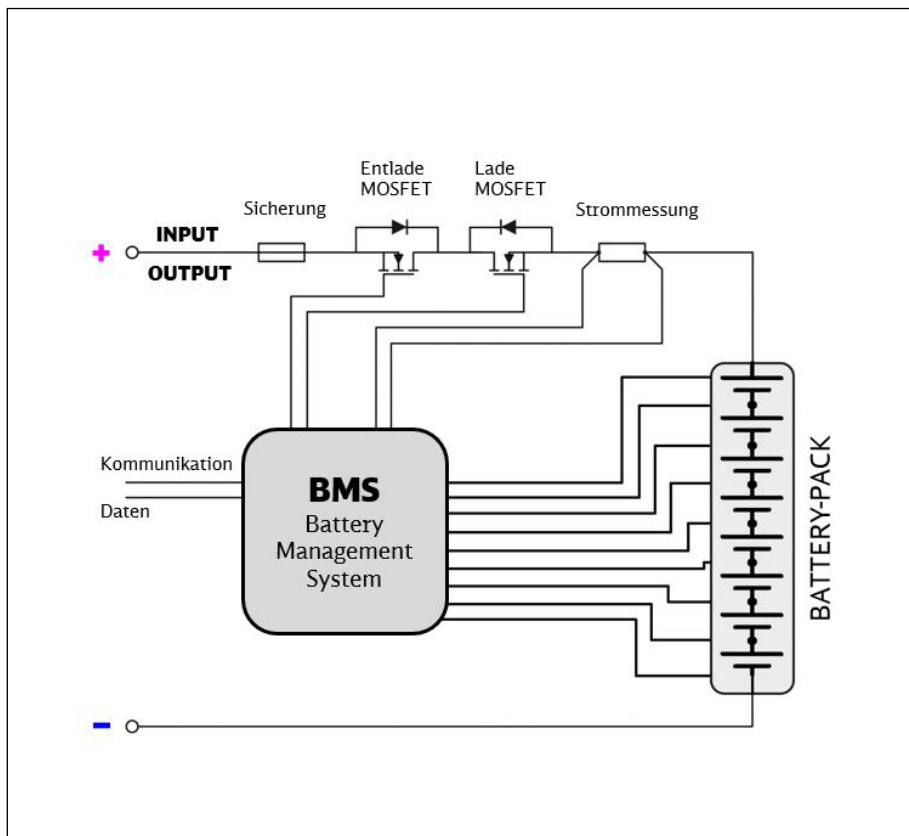


Abb. 5: Aufbau eines BMS

Quelle: DB Bahnau Gruppe / Roman Wangelow

Alterung bemerkbar machen kann. Um dies zu verhindern, müssen die Lade- und Entladeströme vom BMS gemessen werden. Beim Überschreiten der Grenzwerte unterbricht das BMS mittels der in Abb. 4 dargestellten Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFET) den Lade- bzw. Entladevorgang für eine gewisse Zeit. Insbesondere bei einem Kurzschluss muss die Batterie vom Verbraucher sofort getrennt werden, da sie überhitzen kann. Für den Fall, dass der Überstromschutz per MOSFET versagt, gibt es eine Sicherung, die im Kurzschlussfall auslöst und die Batterie vor Schädigung schützt. (Abb. 5)

### Über- und Untertemperaturschutz

Batteriezellen erwärmen sich aufgrund des Innenwiderstands, wenn Strom durch sie fließt oder durch äußere Einflüsse, wie eine hohe Umgebungstemperatur. Deshalb muss das BMS auch die Temperatur überwachen. Da sich die Wärme über die Zeit im Batteriemodul verteilt und angleicht, muss nicht die Temperatur jeder Einzelzelle gemessen werden. Bei Überschreitung der zulässigen Temperatur schaltet das BMS mittels der MOSFET den Lade- bzw. Entladevorgang vorübergehend ab, bis sich das Batteriepack wieder in einem sicheren Temperaturbereich befindet. Auch bei tiefen Minustemperaturen sinkt die Kapazität der Batterien stark ab. Daher gibt es Vorwärmesysteme, die die Batterietemperatur in einen günstigen Temperaturbereich führen.

### Messung des Ladezustands: State of Charge (SoC)

Aus den gemessenen Einzelzellspannungen ermittelt das BMS den Ladezustand, welcher in der Regel in Prozent angegeben wird. Bei einer sehr einfachen linearen Betrachtung berechnet sich der SoC gemäß folgender Formel:

$$\frac{\text{aktuelle Spannung} - \text{Entladeschlussspannung}}{\text{Ladeschlussspannung} - \text{Entladeschlussspannung}} [\%]$$

Für exaktere Betrachtungen muss die zellspezifische Lade- bzw. Entladekennlinie für die Berechnung verwendet werden, welche nicht statisch ist, sondern von der aktuellen Lade- bzw. Entladerate und Temperatur abhängig ist.

### Messung des Alterungszustands: State of Health (SoH)

Da eine Batteriezelle mit vielen Lade- und Entladezyklen an Kapazität verliert, wird der Alterungs- bzw. Gesundheitszustand mit folgender Formel bestimmt:

$$\frac{\text{aktuell entnehmbare Gesamtladung}}{\text{nominiell entnehmbare Gesamtladung}} [\%]$$

### Zellspannungsausgleich (Cell-Balancing)

Das Grundproblem bei Zellen unterschiedlicher Zellkapazitäten ist, dass beim Laden oder Entladen immer das schwächste Glied in der Kette – also die Zelle mit der geringsten Kapazität – die Kapazität des gesamten Batteriemoduls bestimmt. Das BMS gleicht

die Unterschiede zwischen den Batteriezellen aus, indem ein passiver oder aktiver Zellspannungsausgleich vorgenommen wird.

Beim Aufladen ohne passiven Zellspannungsausgleich wird so lange aufgeladen, bis die erste (schwächste) Zelle die Ladeschlussspannung erreicht hat, obwohl die restlichen Zellen z. B. erst zu 80 % geladen sind. Beim Aufladen mit passivem Zellspannungsausgleich wird vom BMS ein paralleler Widerstand zugeschaltet, der während des Ladens die Spannung der jeweils parallel liegenden Zelle begrenzt, damit die restlichen Zellen weiter aufgeladen werden können.

Beim Entladen ohne aktiven Zellspannungsausgleich wiederum erreicht die schwächste Zelle zuerst die Entladeschlussspannung, und das ganze Batteriemodul wird vom BMS abgeschaltet. Beim Entladen mit aktivem Zellspannungsausgleich ist es möglich, Strom aus den stärksten Batteriezellen in die schwächsten zu transferieren, um somit das gesamte Batteriemodul gleichmäßig zu entladen. ■

### QUELLEN

- [1] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/verkehr-1672896>, letzter Zugriff am 06.06.2022 um 13:36
- [2] <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-batterie/>, letzter Zugriff am 06.06.2022 um 16:20
- [3] [https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2022/pm10\\_fz\\_bestand\\_pm\\_komplett.html](https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2022/pm10_fz_bestand_pm_komplett.html), letzter Zugriff am 06.06.2022 um 13:39
- [4] <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/Batteriezellfertigung/batteriepass.html>, letzter Zugriff am 06.06.2022 um 16:36



#### Ilma Bojadzic

Gründerin & Leiterin encore | DB  
DB Bahnau Gruppe GmbH,  
Frankfurt am Main  
ilma.bojadzic@deutschebahn.com



#### Roman Wangelow

Ingenieur für Batteriespeichersysteme  
encore | DB  
DB Bahnau Gruppe GmbH, Berlin  
roman.wangelow@deutschebahn.com