

Batteriemanagementsysteme neu gedacht

# Intelligenz statt Intervention

Die Batterieindustrie steckt Milliarden in Hardware-Optimierungen, doch enormes Effizienzpotenzial liegt in der Software: Herkömmliche Batteriemanagementsysteme beschleunigen durch fehlerhafte Steuerungslogik systematisch eine vorzeitige Zellalterung und verursachen so etwa die Hälfte der Kapazitätsverluste. Ein Algorithmus könnte diesen fundamentalen Fehler beheben – ohne jegliche Interventionen an der Hardware.

TEXT: Frederik Fuchs

**E**s ist ein hausgemachtes Problem. Während sich Entwicklerinnen und Entwickler sowie Ingenieurinnen und Ingenieure seit Jahren auf die Hardware konzentrieren und sehr viel Aufwand investieren, um maximal ähnliche Zellen für Batterien zu erzeugen, bleibt ein zentraler Schwachpunkt weitgehend unbeachtet: Batteriemanagementsysteme (BMS) steuern den Ladeprozess traditionell ausschließlich anhand von Spannungsmessungen. Doch diese Vorgehensweise führt über hunderte Ladezyklen zu erheblichen Kapazitätsverlusten. Batterierückläufer, die inzwischen ihr (auch durch das BMS verursachte, vorzeitige) End of Life (EoL) erreicht haben, zeigen, wie schlecht das den Zellen bekommt.

Das Fatale daran: Diese Verluste werden als normal hingenommen, als unvermeidbare Degradation abgetan. Tatsächlich ließe sich etwa die Hälfte des Kapazitätsverlustes vermeiden, indem Wirkungsgradunterschiede ausgeglichen werden, die über die Mechanik, durch das BMS oder durch Unterschiede der Zellen begründet sind. Dafür müsste allerdings die Steuerungslogik intelligent genug sein, zwischen verschiedenen Ursachen von Spannungsunterschieden zu differenzieren. Statt immer ausgeklügeltere Hardware-Lösungen zu entwickeln, wäre es an der Zeit, das eigentliche Problem anzugehen: die Software.



**Second-Life mit ETA-Leveling:** Gelevelte Zellen aus unterschiedlichen Anwendungen lassen sich einfach in eine neue Anwendung überführen und funktionieren einwandfrei als gemischter Batterie-Block. Foto: Benning CMS Technology

## Wie herkömmliche BMS systematisch Kapazität vernichten

Ein Blick auf die Funktionsweise herkömmlicher BMS zeigt, warum ein Umdenken nötig ist. Sie sind so programmiert, dass sie beim Ladevorgang einzig auf die gemessenen Spannungen der Zellen reagieren. Zeigen sich Differenzen zwischen einzelnen Zellen, schaltet das BMS Widerstände und drosselt den Stromfluss. Dieser als Balancing bekannte Prozess entspricht dem aktuellen Stand der Technik und wird so gelehrt.

Dabei wird nicht beachtet, dass Spannungsunterschiede verschiedene Ursachen

haben können. Eine Zelle kann eine höhere Spannung aufweisen, wenn sie tatsächlich weiter geladen ist, aber auch, weil sie mehr Energie in Wärme umwandelt und somit einen reduzierten Wirkungsgrad aufweist. Auch Kapazitätsunterschiede können zu Spannungsabweichungen führen, ohne dass regulierende Eingriffe erforderlich wären.

Doch herkömmliche BMS erkennen diese Unterschiede nicht. Sie nehmen jeden Spannungsunterschied als Füllstands-differenz und regeln entsprechend – aber eben oft an der falschen Zelle. Das Ergebnis: Nach dem Ladevorgang weisen die Zellen unterschiedliche State-of-Charge (SoC)-Werte auf. Diese durch das Balan-

cing verursachte SoC-Schiefelage verschlechtert den Wirkungsgrad des gesamten Blocks und beschleunigt die Alterung.

## Zellalterungsbremse per Algorithmus

ETA-Leveling ist ein Algorithmus, der diesen systematischen Fehler behebt. Statt ausschließlich auf Spannungswerte zu reagieren, betrachtet er das Verhalten der Zellen und reagiert individuell. Dieser Algorithmus erkennt, welche Ursache einem Spannungsunterschied zugrunde liegt und ob überhaupt ein Eingriff notwendig ist.

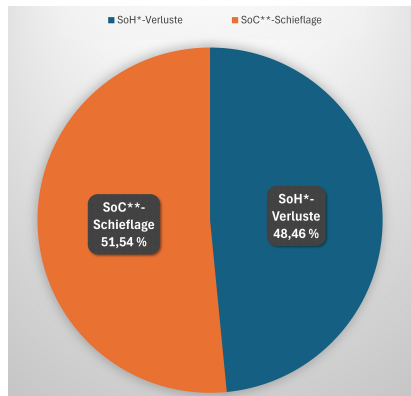
Ein Beispiel: Zwei Zellen mit unterschiedlicher Kapazität sind gegeben, die kleinere erreicht beim Laden schneller eine höhere Spannung. Ein herkömmliches BMS würde eingreifen. Der Algorithmus erkennt jedoch, dass beide Zellen trotz der Differenz gleichzeitig die Ladeschluss-Spannung erreichen werden, und greift nicht ein. Am Ende sind beide Zellen gleichzeitig bei 100 % SoC, ohne unnötige Eingriffe.

Anders bei Wirkungsgradunterschieden: Hat eine Zelle einen schlechteren Wirkungsgrad, wandelt sie mehr Energie in Wärme um. Der größere Spannungsabfall signalisiert dann keinen höheren Füllstand. Während ein konventionelles BMS eingreift und die Situation verschlimmert, kompensiert der Algorithmus beim Leveln gezielt den Wirkungsgradverlust durch einen dosierten Eingriff an der effizienteren Zelle. Am Ende erreichen beide Zellen den gleichen SoC.

Kurz zusammengefasst, behandelt der Algorithmus jede in Reihe geschaltete Zelle wie in einer Einzelzell-Anwendung. Während des Ladens korrigiert er Wirkungsgradunterschiede in wenigen Sekunden. Dabei lässt sich ETA-Leveling als serienreifes Matlab-Simulink-Modell auf jedes bestehende BMS aufspielen, kommt ohne Hardware aus und bringt auf diesem Weg mehr Intelligenz ins vorhandene BMS.

## Unnötigen Ausschuss vermeiden

Bei der Produktion von Lithium-Ionen-Zellen liegt der Ausschuss bei etwa 10 % während der laufenden Produktion, in der Anlaufphase sogar bei 20 bis 50 % [1; 2]. Viele dieser Zellen sind technisch einwandfrei, scheitern aber an den Anforderungen, nahezu identisch mit anderen



**Durchschnittswert** von mehr als 100 untersuchten Systemen aus der E-Mobilität und stationären Speichern, unterschiedliche Zellchemien (Quelle: eigene Auswertung der Benning CMS Technology GmbH).

Grafik: Benning CMS Technology

Zellen derselben Charge zu sein. Angesichts des global wachsenden Bedarfs im mehrstelligen Gigawattstunden-Bereich führt dies zu massiver Ressourcenverschwendung. Und die resultiert direkt aus den Limitierungen konventioneller BMS, die auf nahezu identische Zellen angewiesen sind – eine Gleichheit, die sie dann über die Ladezyklen hinweg systematisch untergraben. Werden Zellen stattdessen gelevelt, können sie auch mit Abweichungen problemlos zusammenarbeiten, da der Algorithmus Unterschiede im laufenden Betrieb ausgleicht.

## Patchwork-Batterien: Einfaches Second-Life

Der Algorithmus ermöglicht es, Zellen unterschiedlicher Hersteller, unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Kapazität und sogar unterschiedlicher Zellchemie in einer Patchwork-Batterie zu kombinieren. Damit widerlegt der Algorithmus die bisherige Annahme, dass Zellen innerhalb eines Batterie-Blocks möglichst identisch sein müssen.

Ausgemusterte Batteriemodule, die bei Stromspeicher-Herstellern auf Halde liegen, müssen nicht mehr aufwendig demontiert und analysiert werden. Stattdessen werden sie gelevelt – ein Vorgang von meist wenigen Stunden – und dann können sie als Ganzes in eine neue Anwendung überführt werden. Beim Leveln zeigt sich, welche Zellen von ihren Kapazitäten her sinnvoll zusammenpassen. Die werden entsprechend kombiniert, sodass ein einwandfrei und dauerhaft funktionierender Batterie-Block entsteht. Für stationäre Speichersysteme, die weniger dynamische

Anforderungen haben als mobile Anwendungen, eröffnet dies völlig neue Möglichkeiten. Hersteller können sowohl bei Speichern, die mit neuen Zellen bestückt sind, auf größere Zellkontingente zurückgreifen und Produktionsausschuss reduzieren als auch Second-Life-Batterien einfacher und wirtschaftlich zusammenstellen. Die Anforderungen an Zellsortierung und -matching sinken drastisch, was Kosten spart und die Flexibilität erhöht.

## Vieles spricht für mehr Ressourceneffizienz

Batterien enthalten wertvolle und teils seltene Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan usw., bei denen Deutschland häufig auf Importe angewiesen ist. Die Lieferketten stehen zum Teil in Frage, die Gewinnung dieser Ressourcen ist energieintensiv und belastet die Umwelt. Umso wichtiger ist es, sie effizient und langfristig zu nutzen.

## Fazit: Software schlägt Hardware

Die Batterieindustrie hat sich lange auf die Hardware konzentriert: bessere Zellchemie, präzisere Fertigungsverfahren, ausgefeiltere Kühlsysteme. Doch die großen Effizienzgewinne, die in intelligenterer Software liegen, dürfen nicht weiter vernachlässigt werden. ETA-Leveling zeigt, wie ein intelligenter Algorithmus Kapazitätsverluste vermeidet, die Lebensdauer fast verdoppelt und Second-Life-Anwendungen vereinfacht – ohne eine einzige Schraube zu lösen. Es ist Zeit für einen neuen Innovationshub beim Thema BMS. Denn in der Steuerungslogik liegt viel Potenzial für nachhaltigeres und effizientes Batteriemangement. ■

### Literatur

- [1] VDMA Batterieproduktion (Hrsg.): Roadmap Batterie Produktionsmittel 2030. 2023, [https://vdma-industryguide.com/fileadmin/battprod/downloads/VDMA\\_Batterieproduktion\\_Roadmap\\_2023.pdf](https://vdma-industryguide.com/fileadmin/battprod/downloads/VDMA_Batterieproduktion_Roadmap_2023.pdf), zuletzt abgerufen am 10.3.2026.
- [2] Dahmen, C. et al.: Mastering Ramp-up of Battery Production. Fraunhofer FFB, 2024, <https://doi.org/10.24406/publica-3727>.

### Frederik Fuchs

Geschäftsführer der  
Benning CMS Technology GmbH

[fuchs@cms-technology.de](mailto:fuchs@cms-technology.de)