

© Vitesco Technologies

Batteriemanagementsystem ohne Mikrocontroller

Moderne Hochvoltbatterien werden zur Reichweitensteigerung immer dichter an ihre Betriebsgrenzen gebracht. So wird das Maximum aus der teuersten Komponente im Fahrzeug herausgeholt und das Verhältnis von Kosten und Nutzen verbessert. Doch auch die Peripherie kann dazu beitragen, die absoluten Kosten zu reduzieren. Vitesco Technologies stellt dazu ein Batteriemanagementsystem mit vereinfachter Architektur vor.

Die Hochvoltbatterie (HVB) ist im Elektrofahrzeug unverändert die teuerste Einzelkomponente, auch wenn die Kosten pro kWh immer weiter sinken. Aktuell liegen sie bei etwa 120 US-Dollar pro kWh und werden voraussichtlich in den nächsten drei Jahren auf unter 90 US-Dollar pro kWh fallen [1]. Die tatsächliche Entwicklung der Batterie-

kosten hängt aber nicht nur von technischen Fortschritten, sondern auch von geopolitischen Faktoren ab, die nur schwer vorhersehbar sind. Daher gilt es umso mehr, die Kosten rund um die Batterie möglichst niedrig zu halten. Dieser treibende Faktor erklärt zusammen mit den Anforderungen, die an die Batteriesicherheit gestellt werden, warum die

HVB und damit das Batteriemanagementsystem (BMS) aktuell im Fokus der Aufmerksamkeit stehen.

Der zweite treibende Faktor ist die Weiterentwicklung der Elektrik/Elektronik (E/E)-Architektur in allen Fahrzeugklassen. In traditionellen Fahrzeugarchitekturen sind zahlreiche Steuergeräte (Electronic Control Units, ECUs) verbaut

VERFASST VON



Tindaro Amato
ist Head of Product Management Vehicle and Battery Controls bei Vitesco Technologies in Schwalbach am Taunus.



Dipl.-Ing. Ralph Mader
ist Principal Expert Software Architecture Embedded Systems bei Vitesco Technologies in Regensburg.



Michael Ptacek
ist Head of Vehicle Energy bei Vitesco Technologies in Nürnberg.

und über das System verteilt, von denen jede eine bestimmte Funktion im Fahrzeug erfüllt. Mit der Elektrifizierung, Digitalisierung und dem wachsenden Umfang zusätzlicher Funktionen, wie zum Beispiel im Infotainment, bei Komfort und Steuerung sowie für das autonome Fahren, hat die Anzahl der ECUs und damit auch deren Kosteneinfluss drastisch zugenommen.

Mit dem Leistungsfortschritt bei der Halbleitertechnik haben sich neue Möglichkeiten für die Architektur ergeben. Da die Leistung der Halbleiter mit jeder Generation steigt – und mit ihr die Kosten der Komponente – ist es sinnvoll, diese höhere Leistung von weniger Chips so weit wie möglich auszunutzen und dafür die Anzahl der ECUs zu senken. In **BILD 1** ist die so entstehende fahrzeugzentrierte Architektur mit wenigen Hochleistungsrechnern im rechten Modell dargestellt. Sie bündelt die Funktionen in Teilbereiche zu einer zonalen Systemarchitektur [2, 3].

Es kann davon ausgegangen werden, dass der Marktanteil von teil- bis voll-elektrifizierten Fahrzeugen bis 2030 weiter steigt. Das Steuergerät des BMS in die zukünftige E/E-Systemarchitektur zu integrieren, ist somit ein logischer Schritt in Richtung Systemoptimierung. Dabei geht es um die Frage, wie viele Halbleiter benötigt werden beziehungs-

weise wo und wie sich diese Anzahl reduzieren lässt. Im Folgenden wird am Beispiel des BMS gezeigt, unter welchen Bedingungen eine Vereinfachung möglich ist.

STATUS QUO

Das BMS besteht aus einem zentralen Batteriesteuergerät (Battery Management Unit, BMU) samt Software, einem Hochvoltstromsensor (High-Voltage Sensing Device, HVSD) sowie mehreren Zellüberwachungseinheiten (Cell Monitoring Units, CMUs). In dieser Konfiguration sind in Summe bis zu sechs Halbleiter verbaut. Auf der BMU ist in der Regel eine Steuerungssoftware gespeichert, die mit dem HVSD und den CMUs verbunden ist. Dieses System steuert und überwacht den Zustand der Batterie auf Zellebene und berechnet den Alterungszustand (State of Health, SOH) sowie den Ladezustand (State of Charge, SOC), **BILD 2**.

Für eine Aufteilung und zukünftige Integration des BMS in die Gesamtfahrzeugarchitektur sind die zwei Pfade einer BMU wichtig: Es gibt einen Hochvolt- und einen Niedervoltpfad. Beide sind in heutigen Produktdefinitionen in einem Produkt zusammengefasst. Der Vorteil des aktuellen Systemdesigns ist, dass es kompakt ausgelegt ist. Nachteilig sind jedoch die große Zahl von

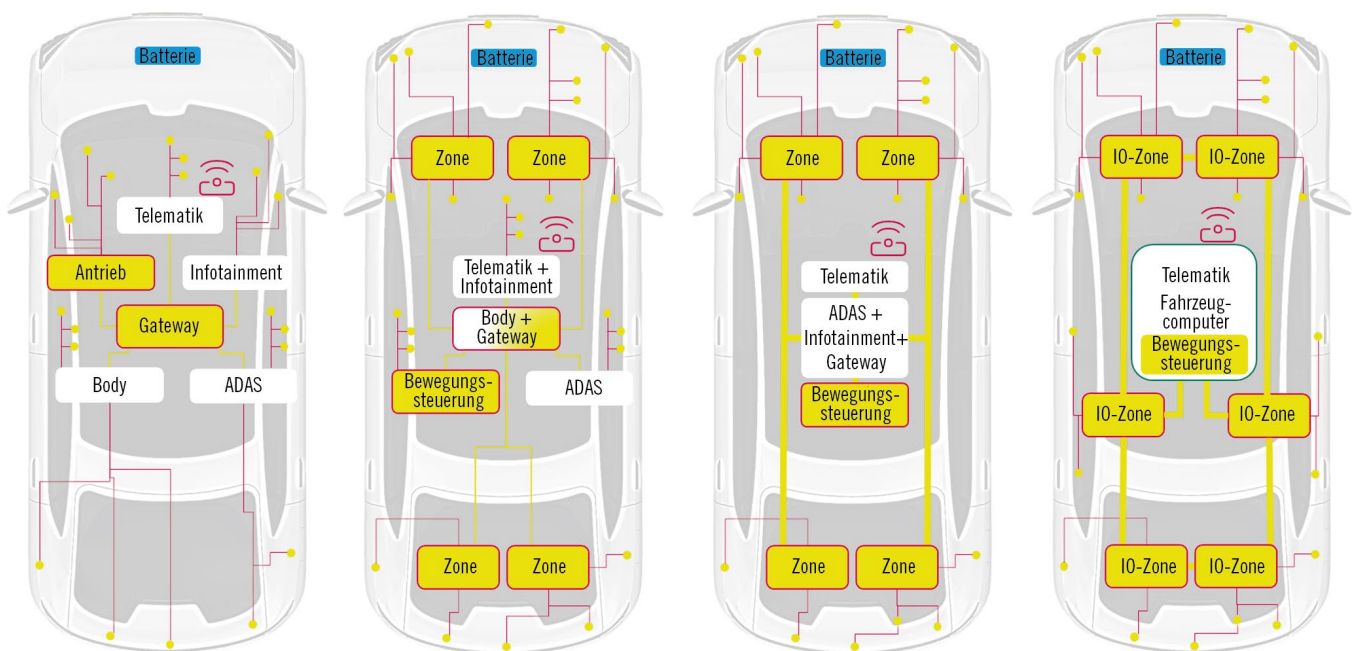


BILD 1 Fahrzeugzentrierte Architekturen mit wenigen Hochleistungsrechnern (rechte Bildhälfte) können die Zahl der ECUs im Fahrzeug um über 90 % reduzieren (linke Bildhälfte) (© Vitesco Technologies)

Komponenten innerhalb der Batterie sowie die geringe Flexibilität in der Steuerung. Die Steuerung des Batteriezustands erfolgt zentral über die BMU und ist damit an diese Komponente gebunden. Aus der übergeordneten Perspektive betrachtet ist das BMS nichts weiter als eine Funktion, die in der Batterie verbaut ist – eine ECU mit ein paar Sensoren innerhalb des Batteriegehäuses.

Öffnet man dieses System und löst sich von den vorhandenen Grenzen, dann ergeben sich neue Möglichkeiten. Programmiert man die Software unabhängig von der Hardware, wie es in Zukunft im softwaredefinierten Fahrzeug (Software-Defined Vehicle, SDV) Standard sein wird, dann stellt das Anforderungen an beide Teile: Die Hardware wird integriert, die Software muss zusätzliche Funktionen erfüllen und flexible Module beinhalten, wie nachfolgend dargestellt.

ZUKÜNFTIGE ROLLE VON SOFTWARE UND MODULENTWICKLUNG

Die Software im Fahrzeug ist nach dem Branchenstandard Autosar entwickelt: die signalbasierte Classic-Plattform auf Mikrocontrollern und die Adaptive-Plattform auf Mikroprozessoren, die gemäß einer serviceorientierten Architektur aufgebaut sind. Modulare BMS-Software für verschiedene E/E-Architekturen muss

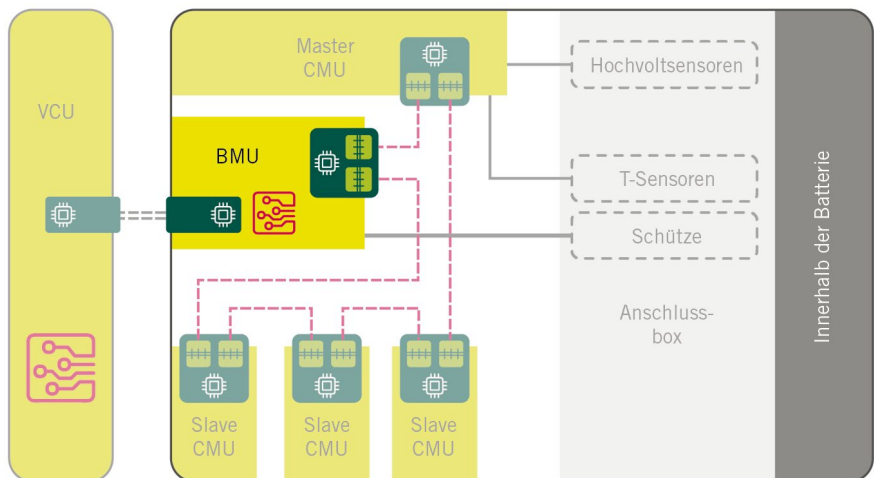


BILD 2 Klassische Architektur eines Batteriemanagementsystems (VCU: Fahrzeugsteuergerät (Vehicle Control Unit), CMU: Zellüberwachungseinheit (Cell Monitoring Unit), BMU: zentrales Batteriesteuergerät (Battery Management Unit)) © Vitesco Technologies

unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Funktionsteile mit hohen Echtzeitanforderungen oder hohen Sicherheitsklassen können nur auf mikrocontrollerbasierten Systemen nahe der Sensorik und Aktuatoren implementiert werden und unterliegen typischerweise aufwendigeren Freigabeprozeduren. Strategie- und Managementfunktionen sowie Zustandsautomaten auf Fahrzeugebene können durchaus davon getrennt auf Mikroprozessoren ausgeführt werden und unterliegen häufig schnelleren Aktualisierungszyklen.

Mit der Zentralisierung in Hochleistungsrechnern steigen der Softwareumfang und die Komplexität der Softwareintegration. Darum ist es notwendig, die Software in kleinere, unabhängige Einheiten zu teilen und diese so gut wie möglich rückwirkungsfrei zum restlichen Softwaresystem zu gestalten. Technologien wie Software Cluster oder Hypervisor, die mittlerweile in der Autosar-Classic-Welt verfügbar sind [2], erlauben diese nahezu rückwirkungsfreie Aktualisierung von Programmteilen unabhängig vom restlichen Soft-

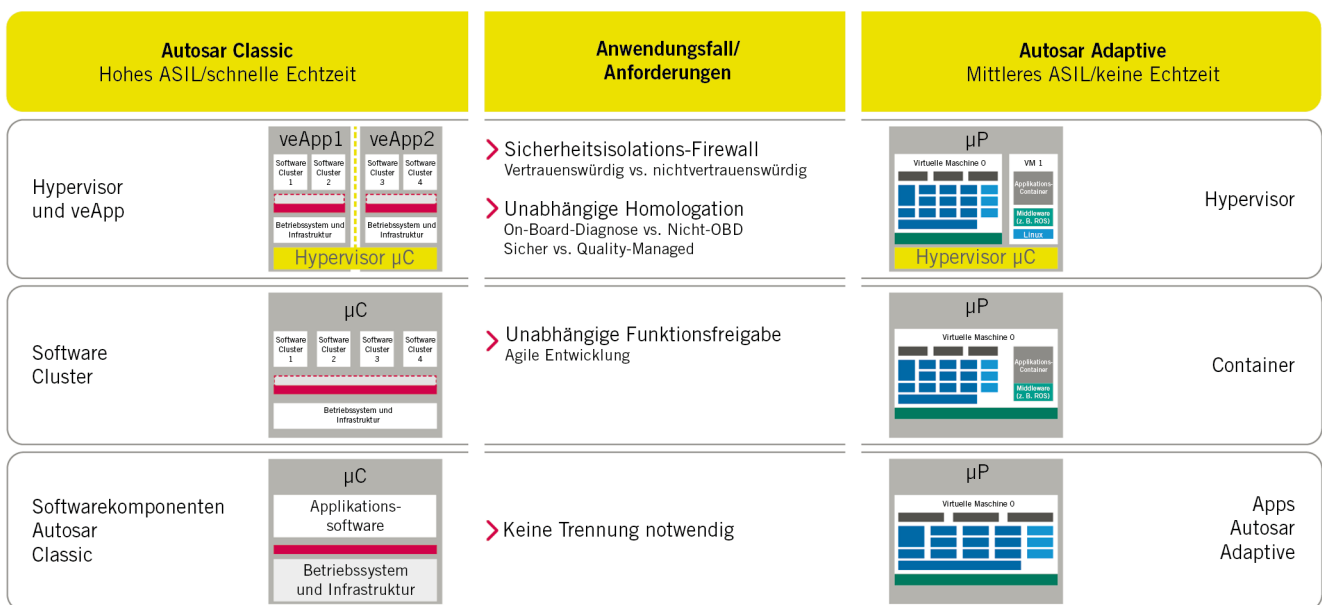


BILD 3 Softwarepartitionierung und Separierung in Autosar Classic und Adaptive © Vitesco Technologies

Der Virtuelle Zwilling – Die Zukunft der Batterieentwicklung

Elektrifizierung in der Automobilindustrie war noch vor einigen Jahren das Thema mit den vielen Unbekannten. Heute ist es nach wie vor ein Technologietreiber, wurde aber mittlerweile ein fixer Bestandteil unserer Entwicklungstätigkeiten. Optimierung, Kostenreduktion und Haltbarkeit stehen dabei im Vordergrund. Das trifft insbesondere für die Batterieentwicklung zu. Neben Innovationen auf der Fahrzeugintegrationsseite (Cell-to-Vehicle) gibt es signifikante Veränderungen auf der Seite der Zellchemie und -technologie (NMC, LFP, LMFP usw.).

Für Entwicklungsingenieure ergeben sich eine Reihe von Aufgaben, beginnend bei Zellauswahl und -adaption, Konzeptionierung und Dimensionierung des gesamten Batteriepaketes unter Berücksichtigung verschiedenster Aspekte, wie Kühlung, thermische Sicherheit, Crash, etc. bis hin zur Integration. Hier

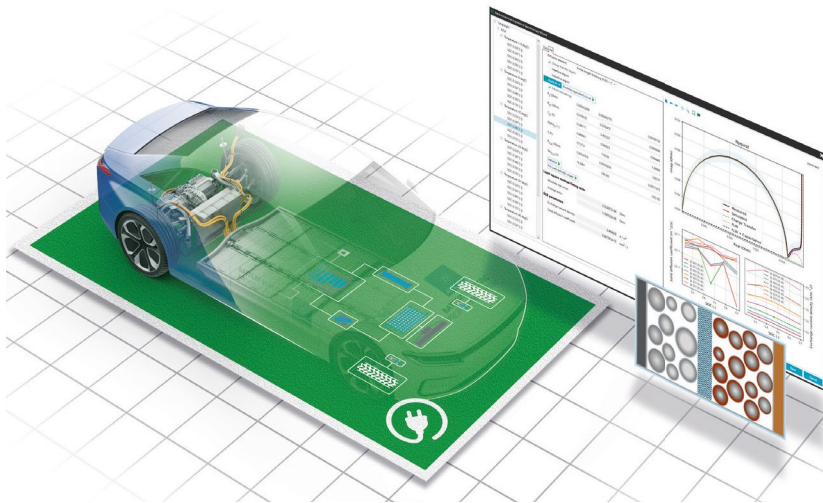
spielt das Batteriemanagementsystem (BMS) eine Schlüsselrolle in Bezug auf elektrische und thermische Regelung mit dem Ziel einerseits das Maximum an Leistung aus den Zellen zu holen und andererseits jede einzelne Zelle in einem Arbeitsbereich zu betreiben, der zu keiner kurzfristigen oder langfristigen Schädigung führt.

Um diese Aspekte zu beurteilen, ist eine simulatorische Untersuchung mittels elektro-chemischen Modellen unumgänglich. Nur diese erlauben einen tiefen Einblick in das Innere der Zelle während des Betriebes, da Messungen in diesem Zusammenhang nicht möglich sind. Funktionale Modelle beschreiben zwar das nach außen sichtbare Verhalten, geben aber keinen Aufschluss über die inneren Zustände. Dass sich die elektrochemische Modellierung noch nicht durchgesetzt hat, liegt meist an der Heraus-

forderung der Parametrisierung. In AVL CRUISE™ M ist das gelöst. Die elektrochemischen Modelle repräsentieren alle multiphysikalischen Phänomene (OCV-Hysterese, Pulsreaktion, ...) und die vorhandenen Wizards erlauben eine geführte und automatisierte Parametrisierung für zuverlässige und nachweisbare Modellqualität.

Elektro-chemische Simulationsmodelle erlauben es, ein tiefes Verständnis für die inneren Zustände in der Zelle aufzubauen, die Zelle für die vorgesehene Anwendung zu optimieren und auch den möglichen Betriebsbereich ideal auszunutzen, ohne, dass es zu einer spontanen (thermischen) oder langfristigen (alterungsbedingten) Schädigung der Zelle kommt. Zu diesem Zweck lassen sich die Zellmodelle direkt in CRUISE M in ein Simulationsmodell des gesamten Antriebs- und Kühlsystems integrieren und mit einem virtuellen Kontrollsystem, dem Batteriemanagementsystem (BMS), koppeln. Für das BMS selbst benötigt man genaue Virtuelle Zwillinge der Zellen. Diese werden heute in der Regel mittels aufwändiger Messungen erstellt. Um diesen Messaufwand zu reduzieren, bietet CRUISE M die Möglichkeit, einen HPPC Test virtuell durchzuführen und die im BMS notwendigen Kennfelder sehr effizient zu generieren.

Heute ist die Virtualisierung der Schlüssel, um Aufwände zu senken, schneller zu lernen und die Zeit bis zur Marktreife erheblich zu verkürzen.



AVL Simulationslösung für ganzheitliche Batterieentwicklung und Fahrzeugintegration

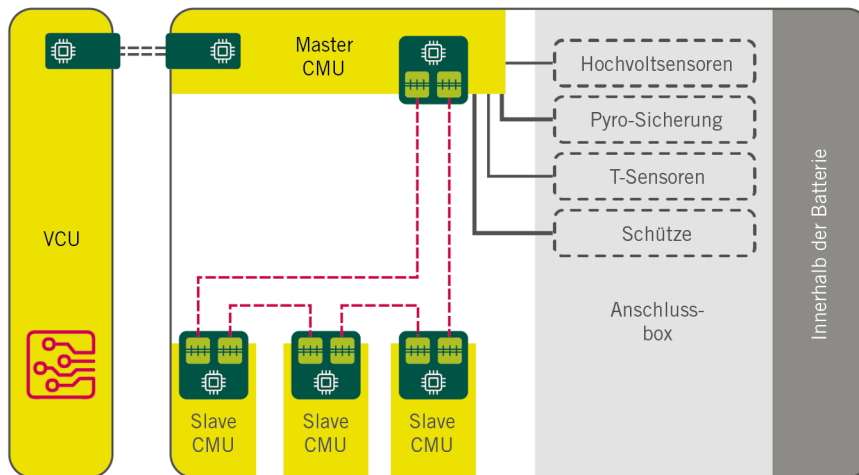


BILD 4 Neue Systemarchitektur mit Integration der BMU-Funktion in den Zone-/Master-Controller (© Vitesco Technologies)

waresystem, **BILD 3**. Die Software-Cluster-Technologie ermöglicht darüber hinaus eine automatische Verbindungstechnik der Schnittstellen zum Restsystem; sie kann auch mit noch nicht vorhandenen Schnittstellen umgehen und erlaubt dadurch eine weitestgehend unabhängige Entwicklung in getrennten Teams oder Unternehmen.

ZUKÜNFTIGE BMS-STRUKTUR

In der modularen Systemarchitektur wird das zentrale Batteriesteuergerät des BMS aufgeteilt und in die neue E/E-Architektur im Fahrzeug integriert. Die Funktionen können flexibel aus dem Batteriekörper extrahiert und in den Zone Controller oder in den Master Controller integriert werden. Ein wesentlicher Punkt ist die Kommunikation und Informationsweitergabe von den Zellüberwachungseinheiten (Slave CMUs) zum zentralen Steuergerät (Master CMU) – in diesem Fall dem Zone Controller. Hier gilt es zu beachten, dass die Informationen aus dem Batteriegehäuse nach außen transportiert werden müssen. In der in **BILD 4** gezeigten Lösung laufen die Informationen innerhalb der Batterie von den Slave CMUs über eine Daisy-Chain-Topologie zur Master CMU. Auf der Hardwareebene reduziert diese Vereinfachung die Zahl der Komponenten in der Batterie – es fällt die BMU samt Platine, Gehäuse, Steckverbindungen und Kabel weg. Als Schnittstelle nach außen kann der CAN dienen oder in Zukunft eine Ethernetverbindung zur Master CMU.

Er enthält den Mikrocontroller oder Mikroprozessor mit der Leistung für die zusätzlichen Softwarefunktionen.

Die größte Optimierung jedoch ergibt sich aus der Integration der BMU-Funktion in den Zone Controller. Durch diese Integration erhält der Mikrocontroller auf dem Zone Controller die Informationen von den Slave CMUs, verarbeitet sie und übernimmt so die Funktionen des BMU. Das bedeutet mehr als Stücklisten- und Kostenoptimierungen, denn durch die Trennung von Hardware und Software ist das System unabhängig vom Batterielieferanten. Die Softwarefunktion kann damit einmal entwickelt und wiederverwendet werden.

VOR- UND NACHTEILE

Das Auftrennen von Hardware und Software bringt wie bei den meisten ECUs den Vorteil der Flexibilität und Nutzung gemeinsamer Peripherie sowie Rechenleistung. Im Speziellen kann damit das BMS als Ganzes schneller und einfacher weiterentwickelt werden, da die Bindung an die Batterie aufgehoben wird. Es lassen sich leichter neue Softwarefunktionen unabhängig vom ursprünglichen Hersteller integrieren. So können aufgrund gesteigerter Rechenleistung präzisere State-of-X(SOX)-Prädiktionsalgorithmen implementiert werden. Mit diesen können unter anderem wesentliche SOX-Batterieparameter wie SOC/SOH mit einer höheren Genauigkeit bestimmt werden, was wiederum zu einer gesteigerten Batteriereichweite führen kann.

Des Weiteren ist nun eine performante Cloudanbindung einfach zu realisieren, die weitere KI-basierte Analysemöglichkeiten zur Identifizierung von Batterieanomalien erlaubt sowie die Möglichkeit schafft, über diese Schnittstelle durch entsprechende Updates over-the-air einzugreifen.

Herausforderung und gleichzeitig Voraussetzung für eine erfolgreiche Realisierung ist die Softwareclusterung. Dafür muss die Softwarearchitektur mitwachsen und auch kommende ASIL-D-Anforderungen für Überspannung, Strom und Temperatur müssen eingearbeitet werden.

FAZIT UND AUSBLICK

Wenn man das bisherige BMS zu einem Cluster aus Softwareblöcken zusammensetzt, können Kosten gespart, die Komplexität der Hardware reduziert und die Fertigung vereinfacht werden. Weiterentwickelte, modulare Software mit hohem Wiederverwendungsanteil macht die steigende Komplexität der Software beherrschbar. Die zukünftige Struktur befindet sich bereits in der zweiten Generation und soll 2028 in Serie gehen.

Neben einem nachträglichen Softwareupdate, das mit der neuen BMS-Architektur und einer entsprechenden Cloudanbindung bereits möglich ist, wäre der nächste Entwicklungsschritt ein sich selbst parametrisierendes BMS. Dies sähe die Implementierung einer von Batterie und Zelltyp unabhängigen Grundkonfiguration des BMS vor, das sich selbstständig während der Fahrt und gestützt von der Cloud an die jeweiligen Batterieparameter anlernt.

Zusammenfassend können durch ein BMS ohne Microcontroller, dessen Funktionen sich in einer zonalen Architektur wiederfinden, zum einen Hardwarekosten reduziert und zum anderen Potenzial für neue Funktionen geschaffen werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] Goldman Sachs (Hrsg.): Electric vehicle battery prices are falling faster than expected. 1. November 2023. Online: <https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/electric-vehicle-battery-prices-falling.html>, aufgerufen: 24. Januar 2024
- [2] Mader, R.; Winkler, G.; Reindl, T.; Pandya, N.: The Cars Electronic Architecture in Motion: The Coming Transformation. Tagungsband, 42. Wiener Motorensymposium, 2021
- [3] Hackelsperger, M.; Reindl, T.; Mader, R.; Winkler, G.: Master Controller für das softwaredefinierte Fahrzeug. In: ATZelektronik (17) 2022, Nr. 7-8, S. 44-47

THE BEST FOR YOUR TEAM. THE WORLD'S LEADING AUTOMOTIVE MAGAZINES IN ONE PACKAGE.

YOU GET:

- ▶ Access to the online specialist articles archives
- ▶ Keyword Search in the e-magazines
- ▶ Interactive animations and editorial videos



WATCH OUR VIDEO AND GET TO LEARN MORE:
www.atz-magazine.com/automotive-package



OEMs



Suppliers



Service providers



Universities