



© zentilia | shutterstock

Energiemanagement und Hybridspeicherkonzept für Elektrofahrzeuge

Der Fortschritt der Elektromobilität steht und fällt mit dem Leistungsvermögen der Batterie. Das BMWi-Forschungsprojekt hyPowerRange zielt darauf ab, zukünftig eine modulare, flexiblere und kostengünstigere Auslegung der Leistung und Kapazität von Traktionsbatterien zu ermöglichen. Dies soll laut Bertrandt durch die Entwicklung eines modularisierten, hybriden Energiespeichers aus Hochleistungs- und Hochenergie-Lithium-Ionen-Zellen erreicht werden.



AUTOREN



Thomas Mückenhoff, B. Eng.
ist Mitarbeiter im Team Energie- und Testsysteme bei Bertrand in Gaimersheim.



Dr.-Ing. Florian Fritzsche
ist Lead Engineer im Team Energie- und Testsysteme bei Bertrand in Gaimersheim.



Dipl.-Ing. Uwe Jörg Blume
ist Leiter des Teams Energie- und Testsysteme bei Bertrand in Gaimersheim.

DAS HYBRIDSPEICHERKONZEPT

Im Gegensatz zu bisherigen Projekten werden im Forschungsprojekt hyPower-Range die verschiedenen Zelltypen in der Hybridbatterie direkt gekoppelt, also ohne elektronische Zwischenwandler, betrieben. Das Wort „Hybrid“ weist in diesem Zusammenhang auf die gemeinsame Verwendung von Hochleistungs- und Hochenergiezellen auf Lithium-Ionen-Basis innerhalb einer Batterie hin. Beide Zelltypen werden bislang typischerweise getrennt voneinander verbaut. Hochenergiezellen haben eine hohe Kapazität und können somit viel Energie beziehungsweise Kapazität aufnehmen, was direkten Einfluss auf die Reichweite von batterieelektrischen Fahrzeugen hat. Dafür sind sie nicht dynamisch, was die Leistungsaufnahme und -abgabe angeht.

Hier sind die Hochleistungszellen klar im Vorteil, jedoch auf Kosten einer deutlich geringeren Kapazität. Ein Elektrofahrzeug mit Hochleistungszellen beschleunigt schneller und kann besser rekuperieren. Rekuperation beschreibt ein technisches Verfahren, mit dem die Bewegungsenergie in Energie zum Wiederaufladen der Batterie gewandelt werden kann. Durch die direkte Kopplung soll die Leistung von bisherigen Batterien mit Hochenergiezellen um bis zu 50 % gesteigert und zugleich die Lebensdauer der Zellen verlängert werden. Zusätzlich entfallen weitere teure Zusatzkomponenten wie Spannungswandler, die in bisherigen Konzepten zum Zusammenspiel der beiden Zellentypen benötigt wurden.

Zur Steuerung dieses Zusammenspiels wird im Projekt ein neuartiges Batteriemanagementsystem entwickelt. Innerhalb dieses Forschungsprojekts hat Bertrand die Entwicklung und Integration eines intelligenten und prädiktiven Energiemanagementmodells übernommen. Dabei werden konsequent zusätzliche, reichweitenverlängernde Maßnahmen umgesetzt. Vor allem wird die Hybridbatterie im Fahrzeug in ein übergeordnetes Konzept zum Energie- und Thermomanagement eingebunden, **BILD 1**.

AUFGABEN DES ENERGIEMANAGEMENTS

Das Energiemanagement hat die Verringerung des Energiebedarfs zum Ziel. Dies darf nicht zulasten anderer Anfor-

derungen gehen, wie zum Beispiel des Kundenkomforts. Auch müssen gesetzliche Vorgaben berücksichtigt werden. Das Energiemanagement umfasst die Koordination verschiedener Komponenten und die Bereitstellung von Funktionen nach Kriterien wie Energiebedarf, Komponentenlebensdauer und Komfort. Dies betrifft zum Beispiel das Antriebssystem sowie elektrische Verbraucher und umfasst Funktionen wie Reichweitenverlängerung, Lademanagement und Schnittstellen zum Thermomanagementsystem. Durch die Komplexität der im Fahrzeug enthaltenen Komponenten und Systeme ist eine Betrachtung aus Gesamtfahrzeugsicht sinnvoll.

Ein intelligentes Energiemanagement ist erforderlich, um alle Vorgaben zu erfüllen und den Fahrer dabei während seiner Fahraufgabe zu unterstützen [1, 2]. Im Förderprojekt entwickelt Bertrand Energiemanagementfunktionen für das dabei aufgebaute batterieelektrische Demonstrationsfahrzeug. Diese fokussieren sich auf die Hochvoltseite. Dabei wird die Kommunikation aller Teilsysteme des Fahrzeug-Datenbusses und der verbauten Zusatzkomponenten überwacht und analysiert.



BILD 1 Energiemanagement und Thermomanagement sind zunächst unabhängige Komponenten, die über definierte Schnittstellen eng zusammenarbeiten; beide Komponenten starten mit der Funktionsentwicklung, und am Ende erfolgt die Funktionsverifikation mittels Test und Absicherung (© Bertrand)

Zum Einsatz kommen konventionelle botschaftsorientierte Kommunikationstechniken wie CAN sowie das Senden und Empfangen von analogen und digitalen Signalen. Der Zugriff auf die Daten erfolgt dabei in Echtzeit. Die Informationen werden an die Funktionen weitergegeben, Zwischenwerte und Berechnungen gespeichert und am Ende wieder auf den Fahrzeugbus geschrieben.

MODELLBASIERTER ANSATZ BEI DER FUNKTIONSENTWICKLUNG

Zu Projektbeginn stand die Erarbeitung eines Lastenhefts an, in das jeder Projektpartner seine Anforderungen einbringen konnte, **BILD 2**. Im Entwicklungsprozess der Funktionen verfolgt Bertrand einen modellbasierten Ansatz. Das Modell wird in die zwei Haupt-



BILD 2 Erarbeitung eines Lastenhefts, in das jeder Projektpartner seine Anforderungen einbringen konnte (© Jacob Lund | stock.adobe.com)

module Energiemanagement und Thermomanagement unterteilt. Im Energiemanagementmodul sind die Funktionen Betriebszustandserkennung, Reichweitenberechnung und -verlängerung, Rekuperation, Reduzierung der Batteriebeanspruchung und das Lademanagement zur Berechnung der Ladeleistung und Startzeit für das Ladegerät verortet. Im Modul Thermomanagement erfolgt die Ansteuerung der Kühlkreislaufkomponenten von Batterie, Antriebskomponenten und Fahrzeuginnenraum.

In einem Konzept wurde das Energiemanagement zunächst durch Funktionsbeschreibungen sowie die Eingangs- und Ausgangssignale (relevante Fahrzeugsignale) charakterisiert und mit Ablaufdiagrammen ergänzt. Hierbei konnte Bertrandt auf seine jahrelange Erfahrung im Automotive-Umfeld zurückgreifen. Für das Funktionsmodell wurden interne Schnittstellen definiert, die den Funktionen alle benötigten Informationen zur Verfügung stellen. An der Ausgangsschnittstelle werden die Botschaften auf den Fahrzeugbus und den speziell für die Zusatzkomponenten entwickelten Kommunikationsbus geschrieben.

Für die Prognose der Reichweite wird eine fahrerabhängige Streckenerkennung verwendet. Somit kann für ein bekanntes Fahrtziel bei Fahrtbeginn ein Energiebedarf ermittelt und mit dem in der Batterie gespeicherten Energieinhalt verglichen werden. Liegt das Ziel innerhalb der erreichbaren Reichweite, müssen keine Energieeinsparmaßnahmen getroffen werden. Sinkt durch Fahrer-, Verkehrs- oder Umwelteinflüsse während der Fahrt die Reichweite so weit ab, dass das Ziel nicht mehr erreichbar ist, kommen unterschiedliche Maßnahmen zur Reichweitenverlängerung zum Einsatz. In erster Instanz wird der Fahrer visuell zur Energieeinsparung aufgefordert und dabei unterstützt. Hierbei wird das Ausschalten aktivierter Komfortverbraucher vorgeschlagen, zum Beispiel eine Verringerung der Kühlleistung der Klimaanlage oder das Deaktivieren der Sitzheizung. Sollten diese Maßnahmen nicht ausreichen, greift in letzter Instanz das Bertrandt-Energiemanagement direkt ein und begrenzt die Leistungsaufnahme des Antriebsstrangs im Fahrzeug.

Die zuvor beschriebene Reichweitenberechnung wertet Informationen aus dem lokalen Kartenmaterial des Navigationssystems aus, zum Beispiel Stre-

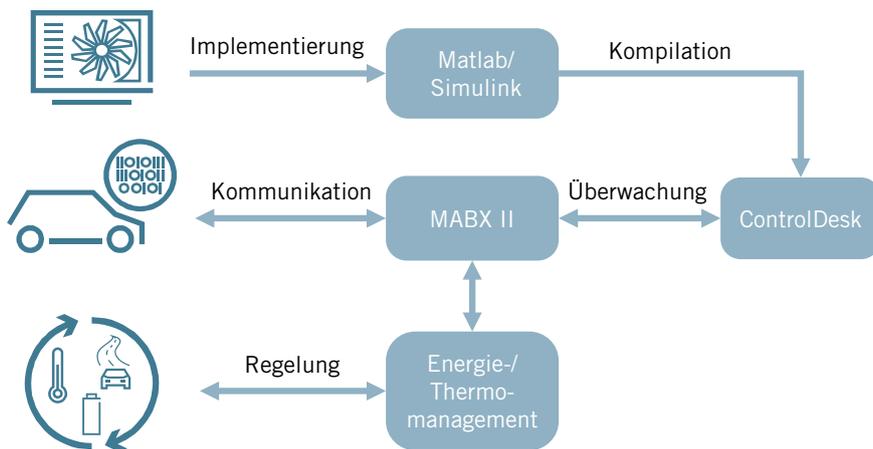


BILD 3 Diese schematische Darstellung zeigt die Aufgabenverteilung der beteiligten Komponenten innerhalb des Entwicklungsprozesses (© Bertrandt)

ckenabschnitte mit Straßentypen. Dabei wird die Fahrweise verschiedener Fahrer auf den unterschiedlichen Straßentypen analysiert und daraus der dazugehörige Energiebedarf bestimmt. Diese Daten werden mit dem jeweiligen Fahrerprofil verknüpft. Zu Beginn einer Fahrt werden die Daten aus dem verwendeten Langzeitspeicher ausgelesen. Nach der Fahrt werden die Energiebedarfswerte dem entsprechenden Fahrerprofil zugeordnet und aktualisiert. Je häufiger ein bestimmter Fahrer eine Route fährt, desto präziser kann der Energiebedarf und die erzielbare Reichweite prognostiziert werden.

Parallel dazu wurde an einer Fahrerhaltensmodellierung gearbeitet. Berücksichtigt wurden das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten, aber auch die Kurvenkrümmungen sowie das Verhalten beim Fahren mit konstanter Geschwindigkeit. Mithilfe linearer Regressionsverfahren wurde das Fahrerverhalten erlernt. Dadurch ist es prinzipiell möglich, aus prädiktiven Streckendaten einen Geschwindigkeitsverlauf für einen Fahrer auf der geplanten Strecke zu bestimmen. Damit wird das Ziel verfolgt, fahrerabhängig die benötigte Energie auf einer zukünftig zu befahrenden Wegstrecke vorherzusagen.

WERKZEUGE ZUR PROTOTYPISCHEN FUNKTIONSENTWICKLUNG

Im Rahmen der prototypischen Entwicklung des Fahrzeugenergiemanagementsystems werden die Funktionen auf der Buskommunikations-Hardware Micro-

AutoBox 2 (MABX2) des Unternehmens dSpace implementiert, **BILD 3**. Mithilfe der MABX2 können die in Matlab/Simulink erstellten Modelle schnell im Fahrzeug appliziert werden.

Bis dahin waren viele vorbereitende Schritte notwendig. Zuerst mussten die richtigen Entwicklungswerkzeuge ausgewählt werden. Zum Einsatz kommen die Softwarewerkzeuge CANoe und CANdb++ von Vector Informatik. Zur Erstellung einer busorientierten Kommunikation wurden die Datenbasen mit den Projektpartnern abgestimmt und angelegt. Am Anfang des Konzepts bestand die Kommunikation aus einzelnen Signalen. Während der Laufzeit des Projekts kamen immer wieder neue Signale und Botschaften hinzu. Somit stieg die Buslast und der Rechenaufwand durch die zum Teil sehr komplexen Funktionen kontinuierlich an. Die Modelle werden mithilfe einer speziellen CAN-Toolbox für die Fahrzeugbuskommunikation erweitert. Über das dSpace-Werkzeug ControlDesk NextGeneration werden die Modelle auf die MABX2 geflasht. Darüber hinaus können Einstellungen während der Fahrt vorgenommen, Messungen und Diagnosen durchgeführt werden.

Um alle Funktionen am Hardware-in-the-Loop (HiL)-Prüfstand zu testen, wurden am realen Fahrzeug Buskommunikationsabläufe in Anwendungsfälle eingegliedert und in einzelne Aufzeichnungsdateien (Trace Files) geschnitten. Mit der Vector-Hardware „CAN-Interface für Restbussimulation“ werden die Aufzeichnungen auf die Bushardware



BILD 4 Laborarbeitsplatz mit MABX2-Hardware und Entwicklungs-Laptop (© Bertrandt)

MABX2 gesendet. In dem in **BILD 4** dargestellten Laboraufbau kann das bestehende Modell schnell um neue Funktionen erweitert und bereits implementierte Funktionen getestet und abgesichert werden.

Für Tests und Funktionsabsicherung greift Bertrandt auf seine langjährige Erfahrung mit standardisierten Prüfverfahren zurück. Hieraus werden für das Projekt Prüfzyklen abgeleitet, mit denen die Funktionen zunächst an HiL-Prüfständen und darüber hinaus nach der Integration im Fahrzeug verifiziert und für den Realbetrieb optimiert werden.

AUSBLICK

Aktuell wird das Bertrandt-Energiemanagementmodell im Demonstra-

tionsfahrzeug des Forschungsprojekts hyPowerRange implementiert und erprobt. In Zukunft kann das Modell zur Simulation und zur Entwicklung weiterer Energieeinsparmaßnahmen für Elektrofahrzeuge und Hybrid-Pkw verwendet werden.

Darüber hinaus können die Funktionen auf individuelle Kundenanforderungen angepasst werden. Bei der Auslegung eines batterieelektrischen Fahrzeugs muss heute eine Zelle allen Anwendungsanforderungen genügen. Das Ziel der hybriden Batteriemodularisierung ist es, die für jedes Elektrofahrzeug stark unterschiedlichen Zielwerte Leistung, Kapazität und Gewicht besser für die jeweilige Anwendung erreichen zu können und damit eine

DANKE

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Forschungsprojekt hyPowerRange wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit rund 2,2 Millionen Euro gefördert

(Förderkennzeichen 03ET6114A-F). Außerdem an dem Konsortium beteiligt sind die Projektpartner ABT e-Line GmbH, BMZ Batterien-Montage-Zentrum GmbH, Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF), Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE), Hochschule Kempten und Konvekta AG. Bertrandt dankt allen Projektpartnern sowie dem Projektträger Jülich (PtJ) für die hervorragende Zusammenarbeit.

anwendungsoptimierte Auslegung zur Verfügung zu stellen. Die Hybridbatterie („Hy“) soll also den besten Kompromiss aus Leistung („Power“) und Reichweite („Range“) darstellen.

LITERATURHINWEISE

- [1] Liebl, J.; et al.: Energiemanagement im Kraftfahrzeug. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014
- [2] Büchner, S.: Energiemanagement-Strategien für elektrische Energiebordnetze in Kraftfahrzeugen. Dresden, Technische Universität, Dissertation, 2008



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge.
www.atz-worldwide.com