

© EDAG

Fahrzeug-Bordnetz

Intelligente Regelung elektrischer Verbraucher

Das Energiemanagement im Niederspannungsbordnetz basiert bisher auf einer einfachen Steuerung, die auf dem Ab- oder Zuschalten elektrischer Verbraucher besteht. Mit einem von EDAG entwickelten Algorithmus lassen sich einzelne Funktionen priorisieren und individuell regeln. So sinkt die mittlere Leistungsaufnahme in einem E-Auto um rund ein Drittel.

Florian Antoni und Benjamin Mangold

Strom bleibt auf absehbare Zeit Mangelware an Bord moderner Fahrzeuge. Das gilt einerseits für die Energiemenge, die bei Elektrofahrzeugen vor allem durch die Akkukapazität begrenzt wird. Kommt es im Betrieb zu sehr niedrigen Ladezuständen, ermöglicht ein intelligentes Energiemanagement maximale Restreichweiten. Andererseits nimmt die Anzahl elektrischer Verbraucher tendenziell weiter zu, weshalb ohne Energiemanagement auch Leistungsengpässe im Bordnetz zu befürchten wären beziehungsweise stromführende Komponenten größer dimensioniert werden müssen.

Bislang erfolgt das Energiemanagement in Form einer bloßen Steuerung, die anhand von Ist-Werten der Bordnetzspannung reagiert und bei einem Spannungsabfall gegebenenfalls defi-

nierte Hochlast-Verbraucher abschaltet. Um das Energiemanagement als intelligente Regelung zu gestalten, wäre eine Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten (Verbrauchern) und einem zentralen Regler notwendig, sodass sich die Einzelverbraucher in eine gesamtheitliche Steuerungsstrategie einordnen können.

Kriterien für die Verbrauchsregelung

Grundlage für eine gezielte Regelung einzelner Komponenten ist zunächst, dass das Energiemanagement den Betriebszustand des Fahrzeugs kennt. Das ist nicht trivial, weil einerseits zwischen Fahr-, Park- und Stilllegezeiten unterschieden werden muss (**Bild 1**), andererseits aber auch innerhalb dieser

Kategorien Unterschiede möglich sind, etwa entsprechend dem gewählten Fahrprogramm (Eco, Comfort, Sport). Auch der Ladezustand des Akkus (State of Charge, SoC) gehört zu den grundlegenden Informationen, die dem Energiemanagement zur Verfügung stehen müssen, ebenso wie Daten, die den Energieverbrauch direkt beeinflussen wie Achslasten oder die Außentemperatur. Stehen alle genannten Informationen zur Verfügung, lässt sich daraus eine maximale Leistungsanforderung P_{\max} errechnen.

Um eine individuelle Regelung einzelner Verbraucher zu ermöglichen, ist deren grundsätzliche Regelbarkeit zu definieren. EDAG nutzt dafür insgesamt fünf Klassen (**Bild 2**) wobei die „Kategorie X“ für sicherheitsrelevante Steuergeräte und Nebenaggregate steht, für die eine

unterbrechungsfreie Stromversorgung immer sichergestellt sein muss. Die Klassen regelbarer Funktionen beginnen mit Kategorie 1, in die reine Komfortfunktionen wie Sitzheizung oder das Aufladen mitgeführter Smartphones fallen, und reichen über Kategorie 2, erweiterte Komfortfunktionen wie Klimatisierung, und Kategorie 3, Basisfunktionen wie Innenraumbeleuchtung, hin zu absolut existenziellen Funktionen der Kategorie 4. Letztere sollen auch bei sehr niedrigem Akkustand gewährleistet werden, wie etwa die Stromversorgung der Hauptscheinwerfer, haben bei Ausfall aber kein sofortiges Umschalten in ein Notlaufprogramm zur Folge und können daher beispielsweise kurzzeitig gedrosselt oder mit einer Warnfunktion kombiniert werden. Innerhalb der Klassen ist für jede einzelne Funktion wiederum eine Priorisierung zu definieren.

Die Kategorien an individuelle Auslegungs- und Sicherheitsstrategien eines Automobilherstellers anzupassen, ist selbstverständlich möglich. Unabhängig von der Kategorisierung sind energetisch motivierte Systemeingriffe grundsätzlich so zu gestalten, dass der Fahrer die Abschaltung oder Drosselung zu Lasten der Reichweite übersteuern kann. Auch eine dynamische, fahrsituationsabhängige Restrukturierung der Komponenten wäre technisch grundsätzlich realisierbar.

Verbrauchsoptimierte Leistungssteuerung

Die Informationen über die zu einem bestimmten Zeitpunkt zur Verfügung

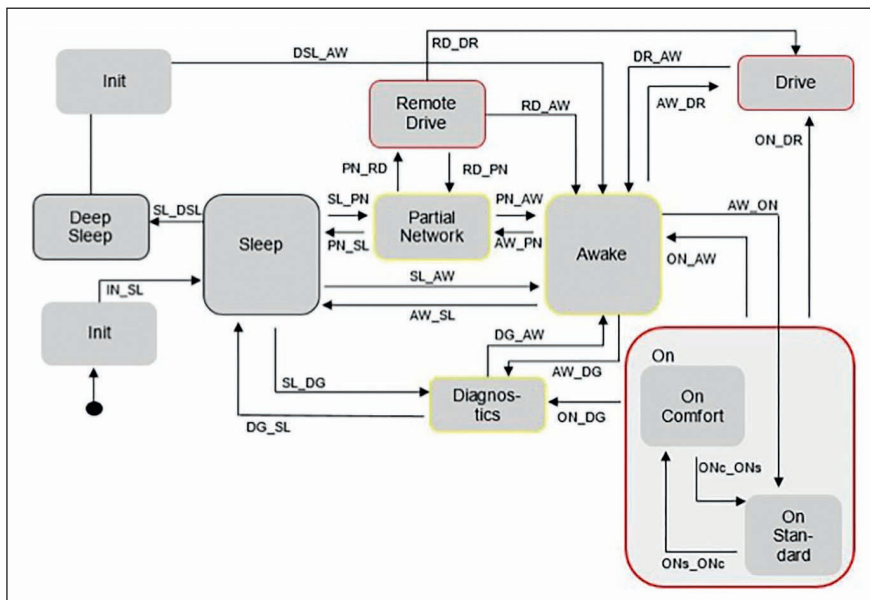


Bild 1: Diagnose des Betriebszustands eines Fahrzeugs als Voraussetzung für eine Regelung elektrischer Verbraucher © EDAG

stehende maximale Leistung (Energieangebot) werden anschließend über die in **Bild 3** vereinfacht dargestellte Funktion mit der aktuellen Intensität der Systemauslastung (w) abgeglichen.

Kommt es zu einer Abweichung zwischen der Intensität und dem systemseitigen Zielverbrauch, greift das Energiemanagement ein, wobei in einer Matrix die Kategorisierung sowie die Systemgrenzen für jeden einzelnen Verbraucher hinterlegt sind (**Bild 4**). Idealerweise handelt es sich dabei nicht um statische Grenzwerte, sondern aktuelle, situationsabhängige Werte, die fortwährend als Request vom Verbraucher an das Energiemanagement kommuniziert werden. Zudem sind Strom, Spannung, Temperatur und gegebenenfalls weitere Zustandswerte Gegenstand der Kommunikation.

Um die definierte Obergrenze für den durchschnittlichen Leistungsbedarf einzuhalten, sind mehrere aufeinander aufbauende Maßnahmen des Energiemanagements möglich. In einer ersten Stufe werden ausschließlich adaptive Applikationen auf einzelnen Steuergeräten pausiert oder gestoppt. Auf den nächsten Ebenen können komplette Steuergeräte oder sogar komplette Zweige eines Energienetzes angesteuert werden. In einem vollständig ausgebauten Energiemanagement lassen sich dann gezielt einzelne Funktionen und deren Energiebedarf regeln.

Der Eingriff selbst erfolgt idealerweise als Kommando des Energiemanagements an die Komponente, woraufhin diese ihren Leistungsbedarf über Verstellung des Betriebspunktes eigenständig anpasst. Bestehen dafür nicht

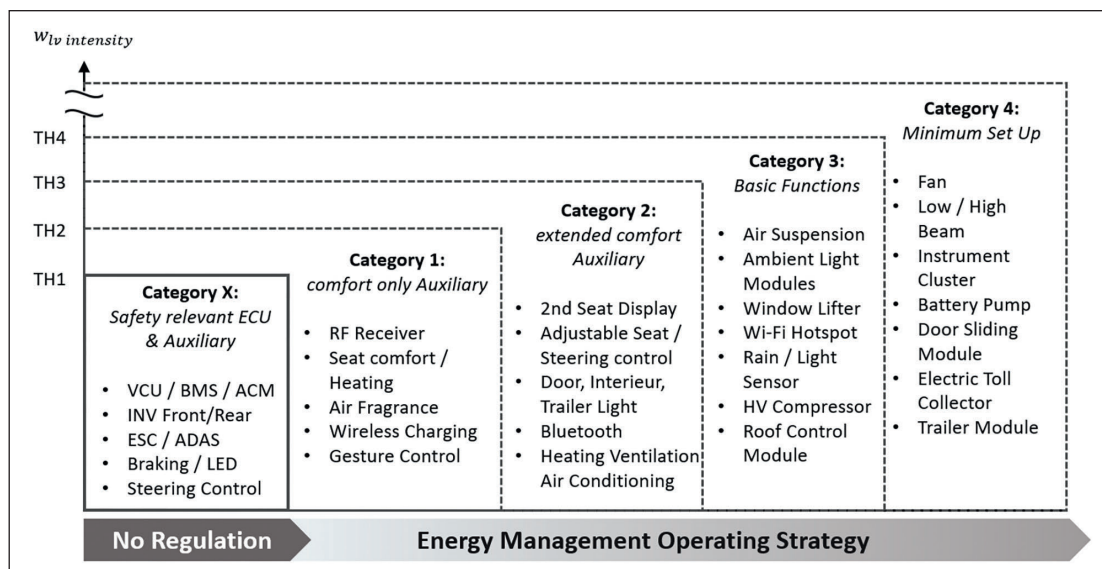


Bild 2: Klassifizierung elektrischer Verbraucher im Niedervolt-Bordnetz © EDAG

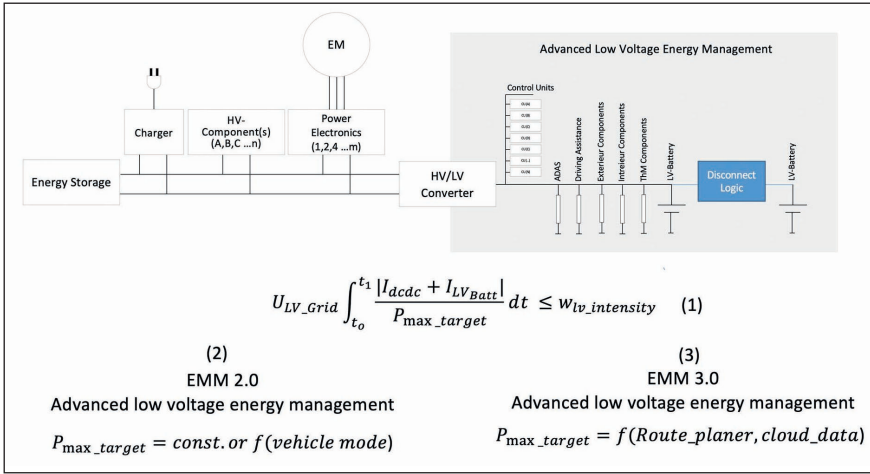


Bild 3: Algorithmus zur Leistungssteuerung anhand von Zielwerten © EDAG

die notwendigen Voraussetzungen, beispielsweise weil es sich um nicht-regelbare Komponenten handelt, verbleibt als Option das Reduzieren der Leistung über die Spannungsversorgung, wobei das immer nur gemeinschaftlich für alle in einem Teilnetz zusammengefassten Komponenten möglich ist.

EDAG hat das Potenzial des intelligenten Regelungsansatzes validiert. Dafür wurde der Leistungsbedarf eines Niedervolt-Bordnetzes in einem Elektrofahrzeug mit neuer E/E-Architektur in realen Straßenfahrten gemessen. Es zeigte sich, dass die individuelle Freigabe im Gesamtsystem nachweislich zu einer verminderten durchschnittlichen Leistungsaufnahme führen kann (Bild 5). So ist ohne jegliche Komforteinbuße eine Einsparung der durchschnittlichen Leistungsaufnahme im Niedervolt-Bordnetz um mehr als 130 W zu realisieren, was übertragen auf ein Fahrzeug mit einer Gesamtreichweite von 450 km im WLTP-Zyklus in einer Reichweitenerhöhung von 10 bis 20 km resultieren kann.

Eine wichtige Erkenntnis aus bisher durchgeführten Entwicklungsprojekten besteht zudem darin, dass die Einführung von Obergrenzen für den Energieverbrauch des Gesamtsystems dazu motiviert, die Leistungsanforderung einzelner Steuergeräte und Komponenten zu verringern. Nicht zu vernachlässigen ist zudem der Effekt, dass elektrische Komponenten stets eine lastabhängige Effizienz aufweisen. Das gilt auch für den DC-/DC-Wandler, über den das Niedervolt- an das Hochvolt-Bordnetz angebunden ist und der bei sehr niedrigen Lasten deutliche Wirkungsgradverluste aufweist, nämlich circa 0,6 bei 10 Prozent Last. Eine energieeffiziente optimale Ansteuerung der Komponenten ist

über die Leistungsverteilung auch unabhängig von der Priorisierung einzelner Komponenten möglich, sie wird über die Systemgrenzen in der Matrix abgebildet.

Perspektiven

Die Einführung einer intelligenten Regelung für das Energiemanagement ist

grundsätzlich Hardware-unabhängig und kann daher sowohl in einer klassischen, auf vielen Steuergeräten basierenden E/E-Architektur als auch in einer Zonen- oder Zentralarchitektur verwirklicht werden. Allerdings sind übergeordnete, für das Gesamtfahrzeug relevante Funktionen wie das Energiemanagement nach Meinung der Autoren am einfachsten in zentralen EE-Architekturen zu realisieren, zumal zentrale Hochleistungsrechner (HPCs) in der Regel ohnehin über die notwendigen Sicherheitsfunktionen verfügen.

Eine Dynamisierung des Regelungsansatzes ist möglich, indem nicht mehr nur der aktuelle Leistungsbedarf berücksichtigt wird, sondern prädiktiv auch zukünftige Bedarfe. Ein solches Energiemanagement ist teilweise für das Hochvolt-Bordnetz in Elektro- und Hybridfahrzeugen bereits realisiert, beispielsweise um topographische Eigen-

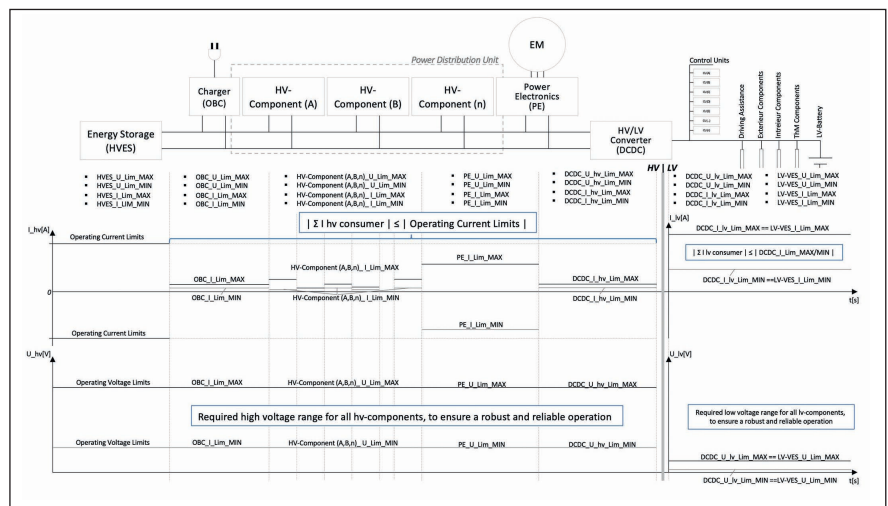


Bild 4: Matrix zur Bewertung von Energieangebot und -nachfrage © EDAG

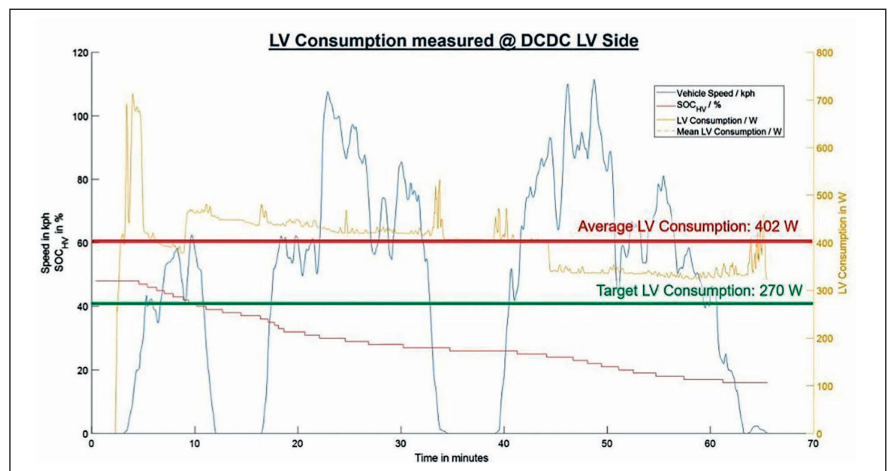


Bild 5: Durchschnittliche Leistungsaufnahme im Niedervolt-Bordnetz eines Elektrofahrzeuges ohne Regelung (rot) und im geregelten Zielzustand (grün) © EDAG

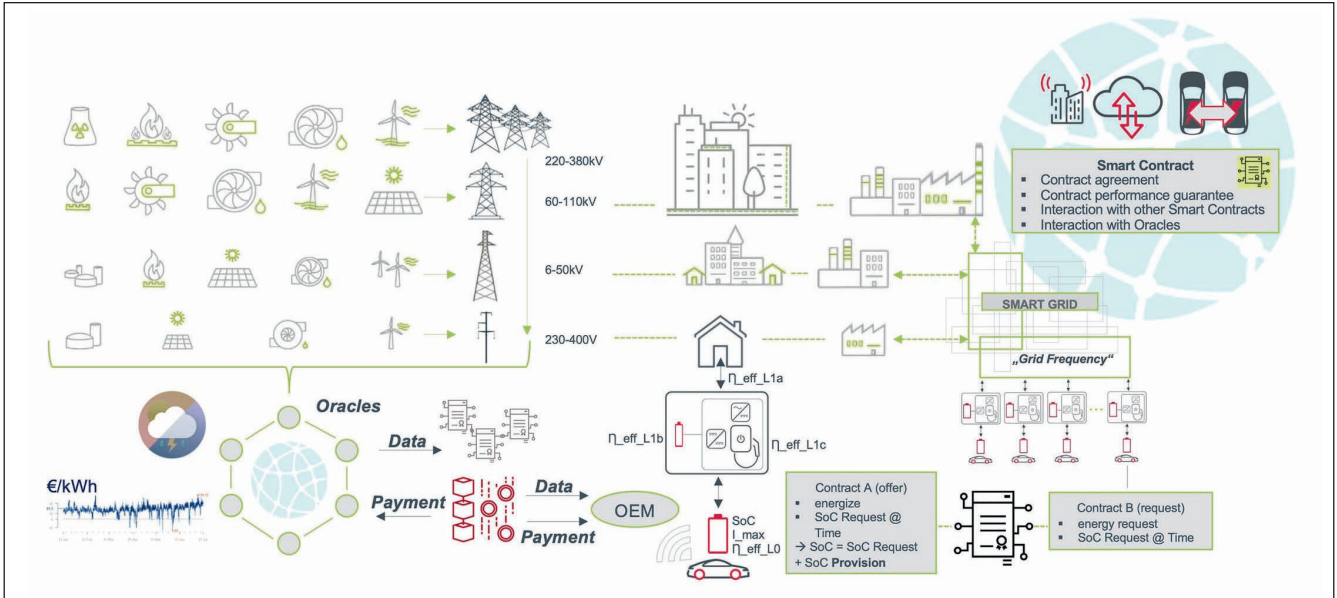


Bild 6: Das Energiemanagement eines Elektrofahrzeugs als Teil eines Smart Grid © EDAG

schaften der gewählten Route in der Fahrstrategie zu berücksichtigen. Im Niedervolt-Bordnetz können prädiktive Strategien trotz des absolut deutlich geringeren Leistungsbedarfs sinnvoll sein. Das gilt insbesondere für relativ leistungsintensive Verbraucher wie Heizung und Klimatisierung. Die praktische Umsetzung erfolgt über eine dynamische Anpassung des Zielverbrauchs P_{max} .

Energiemanagement in zukünftigen Fahrzeuggenerationen wird sich nicht auf das Bordnetz beschränken. Denn wenn das Elektroauto mit seinem Akku Teil eines Smart Grids wird [1], kommen für das Energiemanagement wesentliche Aufgaben hinzu: die Beschaffung der Energie zu möglichst geringen

Kosten und – sofern bidirektionales Laden möglich ist – auch den Wiederverkauf mit maximal möglichem Erlös (Bild 6). Das Aushandeln der Transferpreise und der Abschluss entsprechender Mikrokontrakte erfolgt dabei über automatisierte Software-Agenten. Spätestens zu diesem Zeitpunkt gewinnen prädiktive Elemente im Energiemanagement des Fahrzeugs einen realen, gegebenenfalls sogar monetarisierbaren Wert.

Auch wenn die Automobilindustrie derzeit noch äußerst intensiv mit der Umsetzung eines intelligenten Energiemanagements im Bordnetz beschäftigt ist, so ist es aus Sicht von EDAG sinnvoll, die letzte Ausbaustufe des Energiemanagements dabei be-

reits zu berücksichtigen. ■ (eck) www.edag.com

Quellenverzeichnis

[1] Mangold, Benjamin: Über alle Abteilungsgrenzen hinweg: Interdisziplinäre Zusammenarbeit für das Energiemanagement 4.0 von E-Autos. In: Automobil Elektronik, 05-06/2021



Florian Antoni ist Projektleiter Energiemanagement bei der EDAG Engineering GmbH. © EDAG



Benjamin Mangold verantwortet elektrische Antriebe und Energiemanagement bei der EDAG Engineering GmbH. © EDAG

hönlegroup Industrial Solutions.



Innovative Klebelösungen für die Automotive-Industrie

Hightech-Klebstoffe und Vergussmassen von Panacol kommen bei der Fertigung von Automobilen zum Einsatz.

Typische Anwendungen sind das Fixieren und Abdichten von Sensoren, Verklebungen in Batteriemodulen oder das Verkapseln von elektronischen Komponenten als Korrosionsschutz.

LED-UV- und UV-Aushärtegeräte von Hönle gewährleisten eine zuverlässige Aushärtung in Sekundenschnelle.

