Hochvoltbatterien – aktueller Stand der Technik und Sicherheit

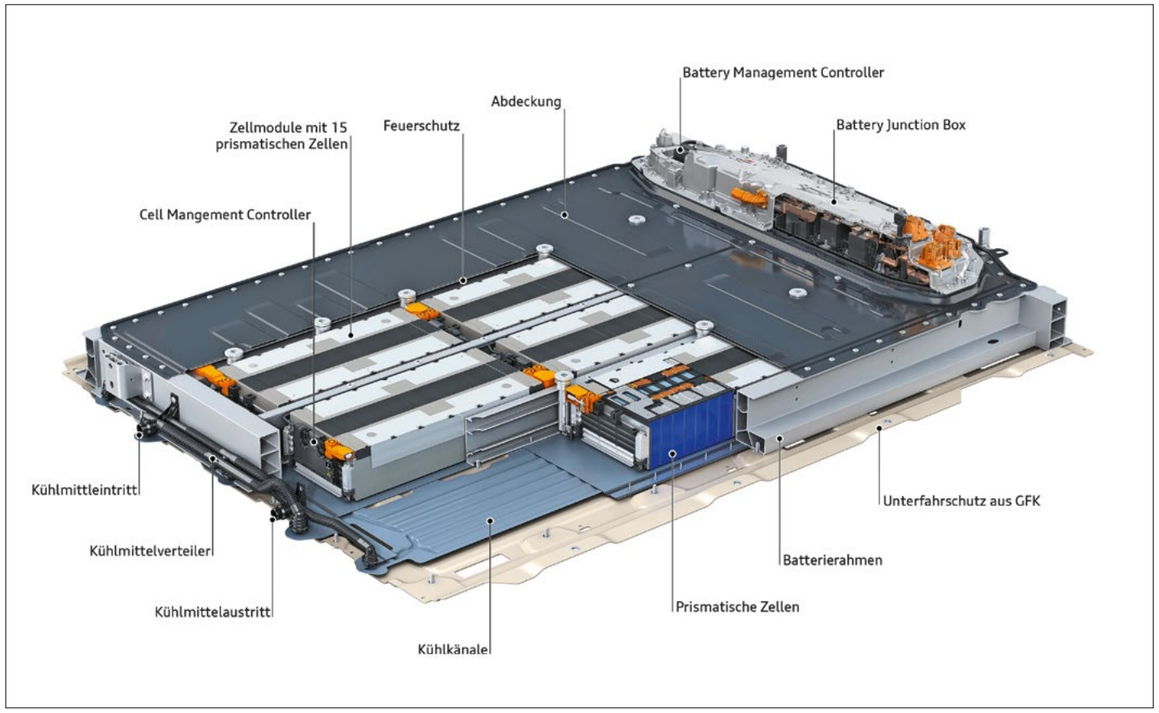
Die Technologie im Griff

Grosse batterieelektrische Fahrzeuge weisen Hochvoltbatterien mit über 100 kWh Speicherkapazität auf und sind trotz der hohen Energie sehr sicher. Möglich machen dies diverse Sicherheitssysteme und konstruktive Massnahmen. Ein Blick ins Gehäuse der Energiespeicher verrät: Es gibt noch weiteres und vielfältiges Entwicklungspotenzial, um eine höhere Energiedichte zu realisieren und die Sicherheit zu verbessern. **Andreas Senger**

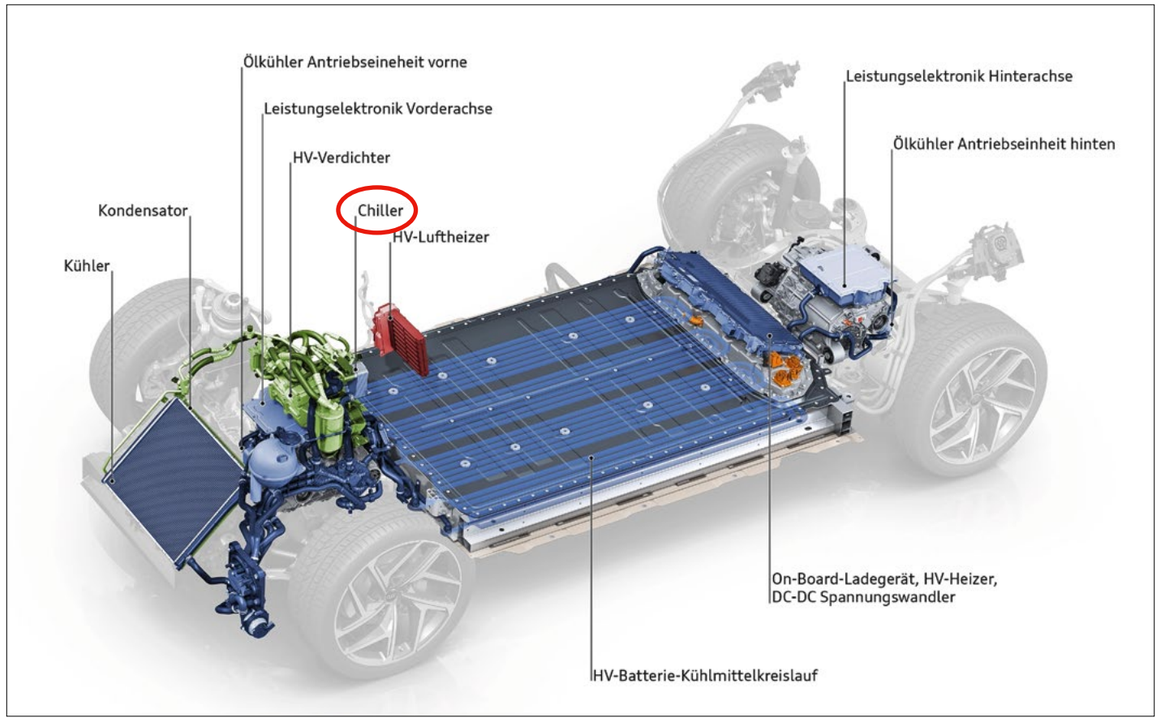
Die Speichertechnologie für elektrische Energie wird kontinuierlich optimiert, neue Materialien und Werkstoffe eingesetzt und dank Automatisierung in der Fertigung das teure Systemteil Hochvoltbatterie auch Schritt für Schritt kostengünstiger. Dass die Sicherheit ebenfalls verbessert wird, darf nicht nur die Kundschaft freuen, sondern auch die Werkstattmitarbeiter. Bei der Zellchemie wird seit geraumer Zeit von neuen Feststoffbatterien gesprochen, deren Elektrolyt nicht flüssig oder gelartig ist, sondern eben fest.

Diese Technologie wird erst von wenigen chinesischen Fahrzeugherstellern eingesetzt. Die europäischen Produzenten vertrauen mehrheitlich nach wie vor auf die bewährte NMC- (Nickel-Mangan-Kobalt) oder auf die kostengünstigere LFP-Zellchemie (Lithium-Eisen-Phosphat). Bei aktuellen NMC-Batterien versuchen die Zellproduzenten, die Anteile von Mangan und Kobalt zu reduzieren. Bei neuesten Zellen werden die Kathodenmaterialien Nickel, Mangan und Kobalt im Verhältnis 8:1:1 gemischt. Hauptbestandteil ist nach wie vor Lithium. In der Anode wird nebst auf Graphit auf einen erhöhten Anteil von Siliziumoxid gesetzt. Bei preisgünstigeren LFP-Zellen wird auf Nickel und Kobalt vollständig verzichtet. Der Nachteil: eine geringere volumetrische Energiedichte (NMC 680 Wh/l; LPF 450 Wh/l) und eine niedrigere spezifische Energiedichte (NMC 171,4 Wh/kg; 119,8 Wh/kg; Angaben Mercedes-Benz).

Durch die schrittweise Erhöhung der Energiedichte weist die Batterie als Gesamtsystem eine niedrigere Masse auf, reduziert so die Fahrzeugmasse und damit auch die Anforderungen an die passive Sicherheit. Bei Audi (Bild unten) wird beispielsweise für die neue 800-Volt-



Eine Hochvoltbatterie weist diverse Sicherheitssysteme auf: Nebst einem massiven Batterierahmen, um die Crashsicherheit zu erhöhen, wird vom Cell Managemenent Controller (Zellüberwacher) die Temperatur und Spannung überwacht. Tritt ein Isolationsfehler oder eine andere Störung auf, trennen die Schütze zum Bordnetz. Foto: Audi



Das Thermomanagement gehört zu den Herztechnologien, um die Hochvoltbatterie effizient zu nutzen und gefährliche Temperaturbereiche zu vermeiden. Eine Standklimatisierung, aber auch eine Beheizung mittels Wärmepumpe gehört bei modernen BEV zu den Garanten, dass die Hochvoltbatterie im Wohlfühlbereich arbeiten kann. Foto: Audi

Batterie der Batterierahmen nicht mehr im Batteriegehäuse integriert, sondern ein aus hochfestem Stahl produzierter Crashrahmen direkt am Fahrzeugboden befestigt. Ein Unterfahrschutz aus kohlefaserverstärktem Kunststoff soll Beschädigungen durch Auffahren minimieren und damit die gefürchtete Intrusion von Gegenständen und einen Kurzschluss von Zellen vermeiden. Damit wird das Risiko eines Thermal runaway deutlich verkleinert und die Batterie optimal geschützt. Sollte die Batterie trotzdem brennen, steigt der Druck im Gehäuse rasant an. Über ein Druckentlastungssystem mit Ventilen wird der Druck kontrolliert abgelassen. Explosionen sind aufgrund dieser Einrichtung unwahrscheinlich. Das Austreten von giftigen Gasen in den Innenraum wird weitestgehend verunmöglicht.

Innovativ in diesem Bereich ist eine Idee von Renault, das Batteriegehäuse mit einer mittels Wasserstrahl lösbaren Glasplatte zu versehen, um bei einem Batteriebrand die Zellen rasch mit deutlich weniger Kühlwasser zu «löschen». Das System wird als «Fireman Access» betitelt, alle neuen Modelle des Konzerns sind damit ausgerüstet, und Renault stellt das System allen Automobilherstellern kostenlos zur Verfügung. Da eine Batterie nicht im Sinne des Wortes gelöscht, sondern nur mit Löschwasser gekühlt werden kann, ist ein Zugang zu den Batteriemodulen über diesen Zugang sinnvoll.

Key-Technologie für die Sicherheit: Thermomanagement

Während beim konventionellen Fahrzeugantrieb die Verbrennungsmaschine mit ihrem komplexen Aufbau und den vielen Zusatzsystemen (bspw. Abgasnachbehandlungssysteme) die Herztechnologie darstellt, ist dies beim BEV das Thermomanagement. Um die Sicherheit und Langlebigkeit des teuersten Bauteils eines BEV sicherzustellen, müssen die Zellen in einem definierten Thermofenster betrieben werden. Ist die Temperatur zu niedrig, vermag die Batterie durch die Verlangsamung der chemischen Prozesse weniger Leistung zu liefern. Wenn die Zelltemperatur über 40 °C beträgt, altert die Zellchemie schneller und ab rund 55 °C können irreparable Schäden auftreten. Darüber besteht die Gefahr des gefürchteten Thermal runaway, der zu einer Kettenreaktion (Batteriebrand) führen kann. Die Wohlfühltemperatur einer HV-Batterie beträgt rund 20 bis 30 °C.

Um dieses enge Temperaturfenster zu gewährleisten, muss der Batterie in den meisten Fällen entweder Wärmeenergie zugeführt (geheizt) oder abgeführt (gekühlt) werden. Bei niedrigen oder hohen Aussentemperaturen, bei Schnellladungen oder rasanter Fahrt (hoher Energiefluss beim Beschleunigen/Rekuperieren) ist das Thermomanagementsystem gefordert. Jedes BEV verfügt über eine Standklimaanlage. Steht ein BEV im Sommer an der prallen Sonne mit hohen Aussentemperaturen, muss die Hochvoltbatterie gekühlt werden. Aus der Hochvoltbatterie wird im Stillstand für den Kompressor Energie bezogen und im Kältemittelkreislauf dafür gesorgt, dass die Wärmeenergie der Hochvoltbatterie weggeführt werden kann. An der Ladesäule bezieht der Kompressor die Antriebsenergie direkt vom Netz. Entsprechend wird die Reichweite im Sommer nicht eingeschränkt, wenn die Kühlenergie von der Ladeeinrichtung bezogen wird.

Fortsetzung Seite 26

Der «Fireman Access» wurde von Renault entwickelt und erlaubt es den Rettungskräften, mit deutlich weniger Löschwasser eine brennende Hochvoltbatterie zu fluten und damit zu kühlen. Das System stellt Renault allen Herstellern kostenlos zur Verfügung. Foto: Renault

Entweder zirkuliert das Kältemittel mittels Verdampfereinrichtung im Hochvoltgehäuse oder ein separater Kühlmittelkreislauf führt die Wärme zum Chiller (im Bild Seite 25 rot eingekreist), der als Wärmetauscher die Energie ans Kältemittel überträgt. Ein aufwendiges System mit Magnetventilen und elektrisch betriebenen Kühlflüssigkeitspumpen sorgt dafür, dass die Batterietemperatur auch bei einer DC-Schnellladung, wo viel Strom zusammen mit dem Innenwiderstand der Zellen zu Abwärme führt, nicht zu stark ansteigt und vor allem nicht in den gefährlichen Bereich abdriftet. Bei aufwendigeren Thermomanagementsystemen wird der Kältemittelkreislauf mit einem Ventilblock umgeschaltet und in «Gegenrichtung» betrieben, um im Wärmepumpenmodus Wärmeenergie für den Innenraum oder zur Beheizung der Hochvoltbatterie zur Verfügung zu stellen. Der Vorteil ist, dass im Gegensatz zu einem PTC-Zuheizer für den Innenraum oder/und für die Hochvoltbatterie ein Teil der Wärmeenergie aus der Umgebung bezogen werden kann und damit der Gesamtwirkungsgrad optimaler ist. Ein Vorkonditionieren der Batterie im Winter bedeutet automatisch, dass die Zellchemie sich im optimalen Temperaturfenster befindet und hohe elektrische Energieströme möglich sind.

Hohe Spannung und Ströme sind ungefährlich

Die Sicherheit im Bereich der elektrischen Energie wird heute durch ein ausgeklügeltes System gewährleistet. Bei jedem Abschalten des Fahrzeuges wird die Hochvoltbatterie vom Bordnetz mittels Schützen (Hochleistungsrelais) getrennt. Beim Einschalten überprüft das Batteriemanagementsystem BMS durch Selbstüberwachung die Isolation der Hochspannungsleitungen (Fehlerstrom) und durch eine Pilot- oder Sicherheitsleitung, ob ein Hochvoltstecker oder Gehäusedeckel entfernt wurde. Erst wenn die Isolationsprüfung fehlerfrei durchgeführt wurde und die Sicherheitsleitung intakt ist, lässt sich die Energie der Batterie nutzen. Auch eine Kurzschlussüberwachung und kontinuierliche Überwachung der Strommenge erhöht die Sicherheit zusätzlich. Bei jeglicher Abnormalität schaltet das BMS die Schütze ab und trennt damit innert Millisekunden die Hochvoltbatterie von den Verbrauchern. Und sollte das Fahrzeug in einen Unfall mit Airbagauslösung verwickelt werden, wird mittels pyrotechnischer Sicherung die Hochvoltbatterie vom Fahrzeug getrennt. Diese wird auch aktiviert, wenn andere Gefahren wie Kurzschlüsse, Isolationsfehler, hohe Temperatur usw. auftreten.

Durch die vielen Sicherheitssysteme ist ein modernes Fahrzeug mit einer hohen Eigensicherheit versehen. In der Werkstatt bedeutet dies, dass ein Elektrounfall praktisch auszuschliessen ist. Trotzdem ist es zielführend, dass von der beruflichen Grund- bis zu Weiterbildung die Sensibilisierung und das sichere Handhaben und damit der Umgang mit Hochvoltsystemen vermittelt wird. Vor allem der Einsatz der entsprechenden Prüfmittel wie Messgeräte muss intensiviert werden. Entsprechend hoch ist die Hürde auch von Seiten der Automobilhersteller, an unter Spannung stehenden Bauteilen wie geöffneten Hochvoltbatterien zu arbeiten. Die Hochvoltprüfung HV 3 wird künftig diesen anspruchsvollen Ausbildungsteil abdecken und wird bereits teilweise von Automobilherstellern und -importeuren angeboten. ●