

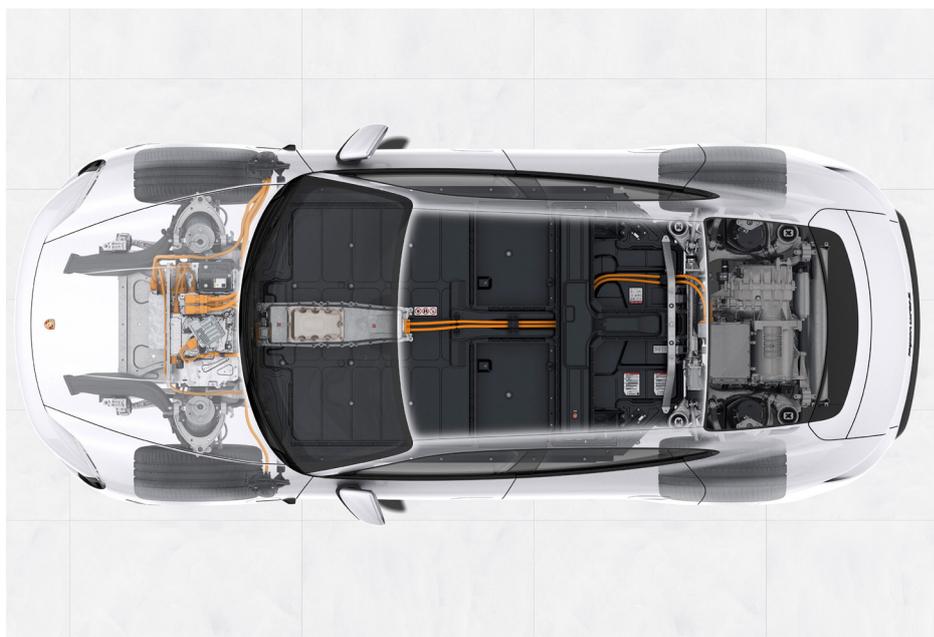
Elektrochemische Speicher – Herausforderung für die E-Mobilität

Die Challenge E-Speicher

Die Achillesferse der E-Mobilität ist die Batterie. Schon vor über 120 Jahren, als ein Kopf-an-Kopf-Rennen zwischen Verbrenner und E-Motor herrschte, gewann der Verbrenner. Nicht wegen seiner stinkenden Abgase, sondern weil das Handling für den Nutzer einfacher war. Der aktuelle «Umbau» im Antriebssegment, um lokal CO₂-frei fahren zu können, zeigt, dass die Herausforderung Energiespeicher noch nicht gelöst ist. **Andreas Senger**

Das Angebot an Steckerfahrzeugen, wie batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) oder Plug-in-Hybride (PEHV) genannt werden, wächst kontinuierlich. Der Druck zur Reduktion der CO₂-Emissionen und dem Wechsel auf lokal CO₂-emissionsfreien Antrieb treibt die Hersteller und Importeure an, den Kunden die E-Mobilität schmackhaft zu machen. Obwohl aus der Steckdose auch auf lange Sicht nicht CO₂-freier Strom erhältlich ist, sind die BEV «gesegnet» mit 0g/km CO₂-Emissionen und helfen, den Flottenverbrauch auf die geforderten 95 g/km zu drücken.

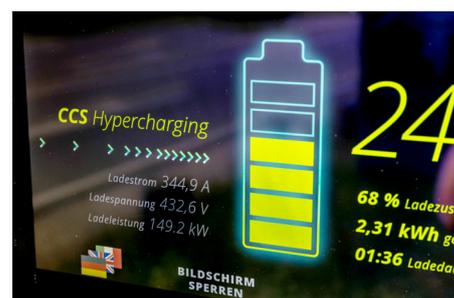
Erfrischend, dass die Fachpublikation «Auto Motor und Sport» ihre Kriterien für die Testberichte für E-Fahrzeuge angepasst hat und die CO₂-Emissionen pro 100 km aufgrund des deutschen Strommixes berechnet: durchschnittlich 401 g CO₂ pro kWh elektrische Energie pusten vornehmlich die Kohlekraftwerke in die Luft (trotz CO₂-freien Windparks und Solarzellen). Ausgewiesen werden also 0g/km, ein grosses BEV verbraucht rund 25 kWh pro 100 km Fahrstrecke. Ergibt 25 kWh x 401 g/kWh: 100 km Fahrstrecke = 100 g/km. Und damit mehr als der Flottenverbrauch von 95 g/km sein dürfte. Die Schweiz ist gesegnet mit einem hohen Anteil CO₂-freiem Strom. Emissionen machen aber bekanntlich nicht halt beim Grenzübertritt, Stromimporte sind auch aus Deutschland an der Tagesordnung. Für den Kunden ist die Umstellung auf E-Antrieb vom Handling her problemlos. Vorausgesetzt, eine sinnvolle



Heute bauen alle Automobilhersteller die Batterie als Plattformteil zwischen den Achsen ein (zum Teil als tragendes Carrosserieelement). Damit ist der Schwerpunkt niedrig und das Fahrverhalten optimal. Die Crashsicherheit und damit die gefürchtete Beschädigung der Hochvoltbatterie ist nur noch im Extremfall möglich. Foto: Porsche



Die einzelnen Zellen werden in einem Zellmodul zusammengefasst. Damit die Produktion ungefährlich ist, weist ein Zellmodul in der Regel weniger als 60 Volt Gesamtspannung aus. Foto: Mercedes-Benz



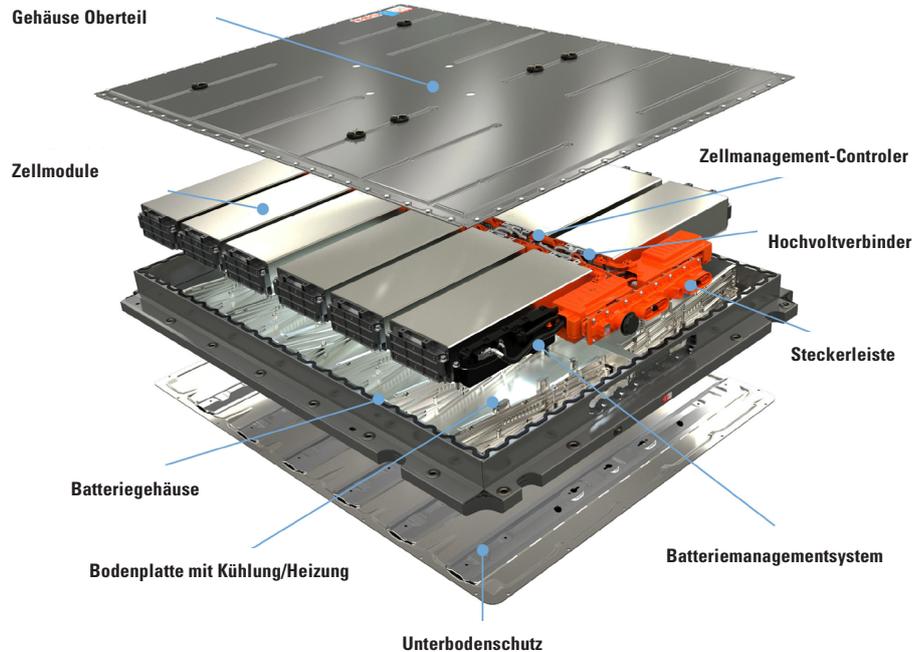
Schnellladungen sorgen für kürzere «Tankstops», stressen die Hochvoltbatterie aber erheblich. Wenn längere Reisen unternommen werden, sind sie aber unumgänglich. Foto: Audi



Ladeinfrastruktur zu Hause und bestensfalls bei der Arbeit (wichtig für Pendler) ist vorhanden, gestaltet sich einzig die Reichweite zum Killerkriterium. Für hohe Reichweiten bis 500 km müssen nach wie vor bis zu einer Tonne Batterie mitgeschleppt werden, um genügend elektrische Energie an Bord zu haben. Diese Traktionsbatterie hat in der aktuell optimalsten Ausführung als Lithium-Ionen-Akku eine Energiedichte von rund 100 Wh/kg Masse und eine Leistungsdichte von etwa 1000 W/kg. Will also ein 2,5-Tonnen-SUV sportlich bewegt werden, muss nicht nur genügend Leistungsdichte vorhanden sein, sondern für die Reichweite auch eine genügend hohe Energiedichte.

Verbraucht ein derart schweres Fahrzeug bei moderater Fahrweise 25 kWh/100 km, sind für Reichweiten von 500 km also 125 kWh Energie nötig und die Batterie entsprechend gewichtig. Aus physikalischer Sicht müssten nicht derart schwere Fahrzeuge elektrifiziert werden, sondern Kleinwagen. Erst mit weniger Fahrzeugmasse sinkt die notwendige Leistung und der Energieverbrauch erlaubt, deutlich kleinere Batterie mit auch geringerer Reichweite einzubauen. Zum einen sind aber die Preisdifferenzen zwischen E-Fahrzeug und Verbrenner bei den kleinen Neuwagen zu gross, zum anderen kann mit teuren Fahrzeugen eine Rendite erwirtschaftet werden.

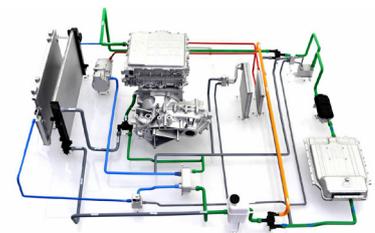
Eine weitere technische Hürde für die Batterie: Um die Lebensdauer möglichst lange zu gewährleisten und damit den Kapazitätsverlust klein zu halten, sollte ein Lithium-Ionen-Akku nur zwischen rund 30 bis etwa 80% seiner Speicherkapazität eingesetzt werden. Die Li-Ionen-Akkus reagieren empfindlich auf Tiefenentladung und auch die maximale Ladungsaufnahme ist für die Lebensdauer nicht optimal. Dieser SOC (State of Charge) muss vom Lademanagement berücksichtigt werden. Wenn im Armaturenräger also 100% als Ladezustand angegeben wird, entspricht dies einem SOC von etwa



Eine Hochvoltbatterie besteht nicht nur aus Zellen, sondern aus Zellmodulen, die über Hochvoltverbinder zur Nennspannung durch Serieschaltung zusammengebaut werden. Das Thermo- und Lademanagement ist zentral, damit die Batterie eine lange Lebensdauer aufweist und möglichst wenig an Kapazität verliert. Foto: Volkswagen

80%. Zeigt das Display noch 5% Ladezustand an, entspricht dies dem SOC von rund 30%.

Das Fahrzeug schleppt also einen Energiespeicher mit, dessen Kapazität nie vollständig ausreichend genutzt werden kann. Vergleichbar ist dies mit einem Benzinfahrzeug, dessen Treibstofftank immer nur zwischen 30 bis 80% gefüllt werden darf. Um eine adäquate Reichweite zu erreichen, müssten in diesem Falle auch über mehrere 100 Liter Benzin mitgeführt werden. Eine weitere Herausforderung stellt sich dem Thermomanagement: Ein Li-Ionen-Akku darf nur in einem engen Betriebstemperaturfenster eingesetzt werden. Zwischen etwa 30 und 40°C funktioniert die Umwandlung von elektrischer Energie (Strom) in chemische Energie (Li-Ionen-Wanderung) und zurück am Optimalsten. Zu tiefe Temperaturen hemmen die Ionenwanderung und die Leistung des Akkus sinkt. Zu hohe Temperaturen zerstören die Zellchemie. Um die Betriebstemperatur in diesem Thermofenster zu gewährleisten, müssen effiziente Heiz- und Kühlfunktionen verbaut sein.



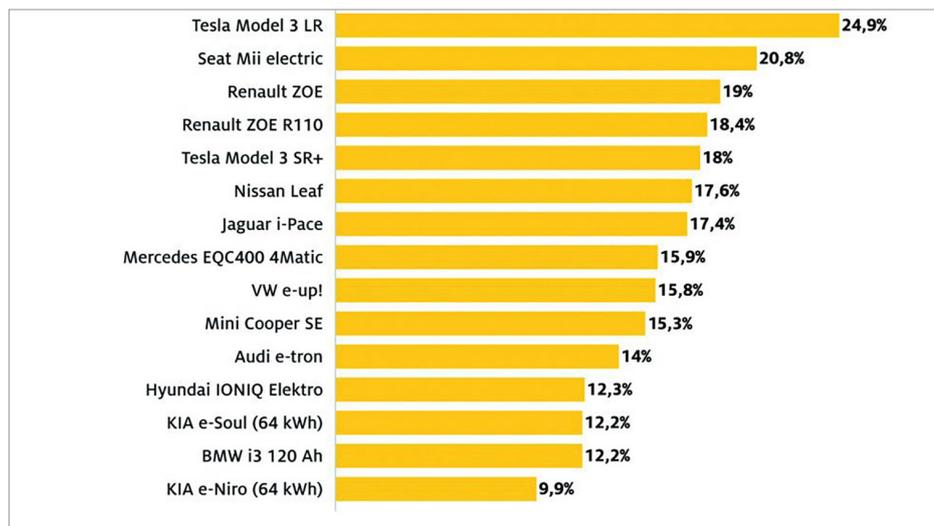
Das Thermomanagement für die Hochvoltbatterie, die Leistungselektronik und die Kühlung der E-Maschinen sind zentral. Insbesondere die Li-Ionen-Akkus sind heikel punkto Betriebstemperatur und müssen in einem engen thermischen Fenster betrieben werden (nicht unter 10°C, optimal zwischen 30 und 40°C). Foto: Hyundai

Bei winterlichen Temperaturen sorgt eine elektrische Aufheizung mit Energie aus der Ladesteckdose dafür. Im Betrieb wird die Abwärme des Inverters (Leistungselektronik) und der E-Maschinen genutzt, um den Akku bei Laune zu halten. Dabei sind Wärmepumpen (Heizen/Kühlen) die aktuell effizienteste Form des Thermomanagements. Dabei wird der Kältemittelkreislauf durch Umschaltventile umgedreht und statt zum Kühlen Energie aus der Umgebung entnommen, die

Fortsetzung Seite 36

BAUMGARTNER AG

Differenz Bordcomputer – realer Stromverbrauch



Markant: Wird ein BEV an der Ladesäule geladen (insbesondere Schnellladung), differiert die geladene Energiemenge mit der an der Ladesäule angezeigten Energiemenge und der im Bordcomputer berechneten Reichweite um bis zu 25%. Grund ist vor allem der Energieaufwand, der nötig ist, um die Batterie beim Laden effizient zu kühlen. Grafik: ADAC



So wird es bei den Garagisten in Zukunft in der Werkstatt aussehen: Wer an Hochvoltbatterien arbeitet, muss höchste Arbeitssicherheitsvorschriften einhalten (hinten). Reparaturen an Modulen oder Zellen werden irgendwann zum Alltag der Werkstattmitarbeiter gehören. Aus- und Weiterbildung ist in diesem Bereich zentral. Foto: Audi

Wärme analog dem Kühlsystem via Kühler an die Umgebung abgegeben. Oft wird aber auch entweder luftgekühlt oder mittels Niedertemperaturkühlung die Batterie und die E-Komponenten gekühlt.

Eine weitere Herausforderung stellt sich beim Laden: Ist genügend Zeit vorhanden, wird die Batterie mit geringer Ladeleistung nicht zu warm und kann die Energieumwandlung schonend vollziehen. Die Wärme beim Laden und Entladen entsteht durch den inneren Widerstand der Batterie. Je höher der Lade- oder Entladestrom beim Beschleunigen ist, desto mehr erhitzt sich die Zelle, das Modul und damit die Hochvoltbatterie.

Bei der langsamen Normalladung vergehen allerdings Stunden, bis der SOC 80 % erreicht wird. Kunden wünschen sich deshalb Schnellademöglichkeiten, die den Akku thermisch stark belasten, aber auch für hohe Ladeverluste sorgen. Der ADAC hat gemessen,

dass bei der Schnellladung des Tesla Model 3 rund ein Viertel der Ladeleistung durch Abwärme verloren geht. Als bildlicher Vergleich: Betanke ich einen Verbrenner mit 10 Liter Benzin, schützte ich rund 2,5 Liter davon daneben und diese Energie steht für den Vortrieb nicht zur Verfügung.

Die Vorteile der Elektromobilität liegen aber auch auf der Hand: Der hohe Wirkungsgrad der Drehstrommaschine bei Antrieb und Rekuperation. Insbesondere die Rekuperation sorgt bei geschickter Anwendung dafür, die Reichweite deutlich zu erhöhen. Die kinetische Energie kann durch Rekuperation gespeichert und wenigstens teilweise wiedernutzt werden. Die Verluste durch die Batterie werden durch den hocheffizienten E-Antrieb rasch kompensiert. Hier setzen Forscher an: Wegen der nach wie vor zu geringen Energiedichte wird an neuen Zellmaterialien geforscht und auch der Elektrolyt soll statt flüssig künftig fest sein. Auch soll durch Ersatz des Lithiums, das vor allem aus Salzseen in Südamerika gewonnen wird und dort zu ökologischen Problemen führt, die Abhängigkeit davon minimiert werden. Auch Kobalt als Batteriematerial oder Seltene Erden für die E-Maschinen (permanent erregte Synchronmaschinen) sind geopolitisch heikel.

Ein weiterer Punkt ist das Recycling nach der Verwendung im Fahrzeug. Erstaunlicherweise sind in der Branche wenige Fälle bekannt, bei denen der Akku frühzeitig gewechselt werden musste. Dank der Zellüberwachung und dem -ausgleich beim Laden

kann die Kapazität bis zur Zelle gleichmäßig erhalten werden und die Batterien halten länger als je erwartet. Tritt allerdings ein Defekt auf (Zellschluss, Beschädigung durch Unfall), muss die Batterie entweder repariert werden (Modul- oder sogar Zellenwechsel) oder sehr teuer entsorgt werden. Das Recycling stellt dabei eine grosse Hürde dar. Bereits der Lastwagentransport einer Hochvoltbatterie gilt als Gefahrgut. Die Kosten nur für den Transportweg aus der Schweiz bis in ein Recyclingwerk kostet einen tiefen, fünfstelligen Betrag. Entsprechend versuchen die Automobilhersteller, dass die Batterien als Second-Life-Anwendung für Fotovoltaik-Speicher oder für dezentrale Stromspeicher verwendet werden können.

Auch in der Werkstatt wird sich einiges ändern: Die teuren Batterien lassen sich im Grundsatz einfach reparieren. Vorausgesetzt ist, dass die Mitarbeiter sicher (Arbeitssicherheit) schrauben und die Ersatzteile vorhanden sind. Auch E-Maschinen oder Inverter/Leistungselektroniken können instand gestellt werden. Aktuell werden Akkus vor allem bei den Herstellern oder Importeuren repariert. Künftig werden spezialisierte Werkstätten hier aktiv sein. Voraussetzung dafür sind Anstrengungen in der Aus- und Weiterbildung.

Der AGVS setzt hier Akzente und hat beispielsweise in der aktuellen Automobil-diagnostikerausbildung neue Lerninhalte definiert, die ab Sommer 2021 bei drei Pilotklassen umgesetzt werden. Diverse Lehrgänge über alternative Antriebe und viele Spezialistenkurse ergänzen das Angebot. In naher Zukunft wird sich die Branche aber noch weiterbewegen müssen, um gezielte Aus- und Weiterbildung vom Verkauf über Kundendienst bis zur Wartung/Reparatur anzubieten: Die Alternativen fordern die gesamte Branche. <