



Beim Zusammenbau der Hochvoltbatterien für Elektroautos ist auch Handarbeit gefragt.

Das Herz der Stromer

Immer mehr Elektroautos sind inzwischen auf deutschen Straßen unterwegs. Hochvoltbatterien sorgen für eine zuverlässige Energieversorgung.

Michael Vogel

Im Rückblick könnte sich 2020 als das Jahr erweisen, in dem die Elektromobilität in Deutschland Fuß gefasst hat. Das Kraftfahrtbundesamt verzeichnete monatlich hohe dreistellige Zuwachsraten bei den Neuzulassungen von Elektroautos – auch wenn die absoluten Zahlen weiterhin geringer ausfielen als für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Um Elektroautos zuverlässig mit Energie zu versorgen, braucht es spezielle Hochvoltbatterien.

Aktuell beruhen diese fast ausschließlich auf der Lithium-Ionen-Technologie.^{#)} Dabei befinden sich zwei Elektroden in einem Elektrolyten, meist ein Lithiumsalz in einem organischen Lösungsmittel (**Abb. 1**). Die positive Elektrode besteht aus einem Metallmischoxid, das neben Lithium Nickel, Cobalt und Mangan enthält, oder aus Lithium-Eisenphosphat. In die negative Elektrode aus

Graphit ist Lithium eingelagert. Ein Separator aus Polymeren trennt die beiden Elektroden. Er ist für Elektronen undurchlässig, um einen Kurzschluss zu vermeiden. Die Lithium-Ionen können ihn dagegen passieren. Beim Laden wandern die Ionen von der positiven zur negativen Elektrode, beim Entladen in die umgekehrte Richtung. Da die Elektronen ihnen nicht durch die Zelle folgen können, fließen sie über den äußeren Stromkreis zur anderen Elektrode und treten in diese ein. So wandelt sich beim Laden elektrische in chemische Energie – und beim Entladen umgekehrt.

Die Zelle ist die kleinste Einheit der Hochvoltbatterie. Um die Leistungsanforderungen im Automobilbereich zu erfüllen, müssen zahlreiche Zellen miteinander verschaltet sein. Dazu befinden sie sich in zylindrischen oder prismatischen Gehäusen sowie in „Pouches“ (Beutel, **Abb. 2**). Zylindrische Akkus erinnern an die im Haushalt weit verbreiteten Pri-

märzellen. Ihr Durchmesser beträgt standardmäßig 18, 21 oder 26 Millimeter, ihre Länge etwa 65 Millimeter. Prismatische Zellen haben etwa das Format einer Tafel Schokolade, sind aber mehrere Zentimeter dick. Während zylindrische und prismatische Zellen ein starres Gehäuse besitzen, sind Pouch-Zellen in Metallfolie eingeschweißt. Ihr Querschnitt ist deutlich größer als bei prismatischen Zellen, dafür sind Pouch-Zellen flacher.

Welche Bauform die Automobilhersteller wählen, hängt meist von Faktoren wie Vertrautheit mit der jeweiligen Technologie, etablierten Lieferketten, Lieferkapazitäten und vorhandenen Fertigungsanlagen ab. So verwenden Volkswagen und Audi Pouch- sowie prismatische Zellen, Tesla nur zylindrische. Einige Hersteller nutzen sogar unterschiedliche Bauformen im selben Fahrzeugmodell.

Die Nennspannung einer Lithium-Ionen-Zelle beträgt etwa 3,7 V. Doch Elektroautos benötigen viel höhere

^{#)} E. Figgemeier und M. Teuber, Bedeutsame Batterien, Physik Journal, Dezember 2019, S. 28

Spannungen und Stromstärken: die Hochvoltbatterie des Mercedes-Benz EQC oder des ID.3 von Volkswagen beispielsweise jeweils 400 V, die des Porsche Taycan gar 800 V. Dazu koppeln die Hersteller die Zellen untereinander: Parallel geschaltete Zellen steigern die Stromstärke, eine Reihenschaltung die Spannung. Zunächst werden Module zusammengefasst und anschließend zu Batterien kombiniert. Dabei gibt es verschiedene Designphilosophien, die sich aus dem verfügbaren Bauraum und beispielsweise der Reichweite ergeben.

Die Kapazität zählt

Vor allem die Kapazität der Zelle bestimmt, wie weit ein Elektrofahrzeug mit einer Batterieladung kommt. Die entnehmbare elektrische Ladung sinkt mit steigendem Entladestrom aufgrund des Innenwiderstands der Zelle. Dieser führt mit zunehmendem Entladestrom zu einem höheren Spannungsabfall. Dadurch sinkt die Ausgangsspannung der Zelle, und die Entladeschlussspannung stellt sich früher ein. Außerdem reduzieren die vergleichsweise langsamen elektrochemischen Abläufe und der Ladungstransport in der Zelle die Kapazität bei hohem Entladestrom. Sinngemäß umgekehrt treten die Zusammenhänge beim Aufladen auf.

Über den zuverlässigen Betrieb einer Hochvoltbatterie entscheidet eine Überwachungs- und Regelungselektronik. Dieses Managementsystem kontrolliert Temperatur, Spannung und Ladezustand der Zellen und kann regulierend eingreifen. Zu seinen Aufgaben gehört auch das Balancing: Weil

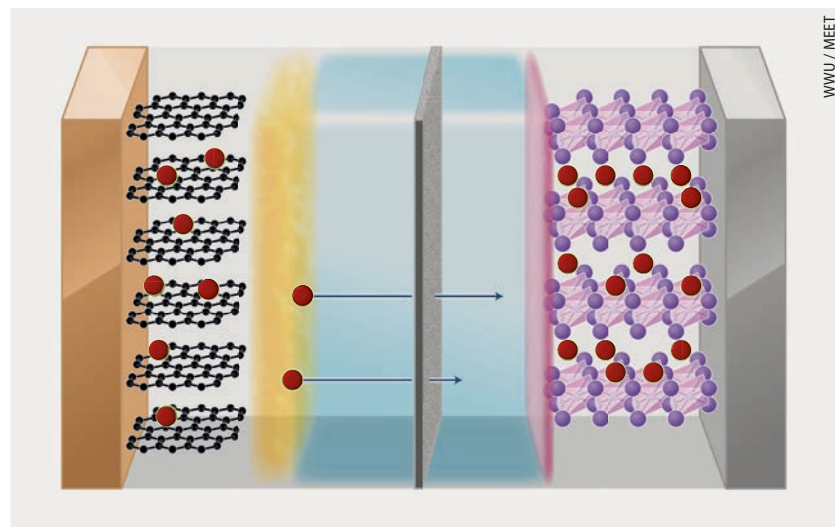


Abb. 1 An der Anode aus Graphit (schwarz) befindet sich ein Stromableiter aus Kupfer (braun). Die Lithium-Ionen (rot) driften durch Elektrolyt (türkis) und Separator (dunkelgrau) zur Kathode aus Metallmischoxiden (lila) und dem Stromableiter aus Aluminium (hellgrau).

es Fertigungstoleranzen gibt und die Zellen unterschiedlich schnell altern, können ihre Kapazitäten immer weiter auseinanderdriften. Wäre zum Beispiel die Kapazität einer von vier parallel geschalteten Zellen deutlich geringer, ließen sich drei nicht mehr bis zu ihrer Nennkapazität aufladen. Denn die Spannung der schwächsten Zelle definiert das Ende des Ladevorgangs und bestimmt die Gesamtkapazität der Batterie. Das Balancing sorgt dafür, dass jede Zelle optimal geladen wird. Es kann aktiv oder passiv erfolgen; aktuell ist vor allem das passive Verfahren verbreitet. Dabei wird der Ladestrom einer bereits vollen Zelle über einen parallel geschalteten Widerstand abgeleitet, sodass in Reihe geschaltete Zellen weiter laden können. Am Widerstand entsteht Wärme, die das Kühlsystem der Batterie abführen muss. Das passiert beim ak-

tiven Balancing nicht, weil eine teure Reglerschaltung den überschüssigen Strom an andere Zellen weiterleitet.

Gehäuse, Elektronik und Klimatisierung sorgen dafür, dass die Energiedichte einer Hochvoltbatterie deutlich niedriger ausfällt als diejenige einzelner Zellen. Die gravimetrische Energiedichte ist ein Maß für die Reichweite, weil sie als Energie pro Masse definiert ist. Auf Zellebene beträgt sie derzeit bis zu 250 Wh/kg, auf Batterieebene durch das zusätzliche Gewicht nur noch zwischen 160 und 180 Wh/kg. Um größere Reichweiten zu erzielen, hilft es also nicht allein, die Zellen zu verbessern. Vielmehr gilt es, das Gesamtsystem weiter zu optimieren. Der Traum von Elon Musk, die Batterie zu einem tragenden Element der Karosserie zu machen, erscheint allerdings schon aus Sicherheitsgründen wenig realistisch.

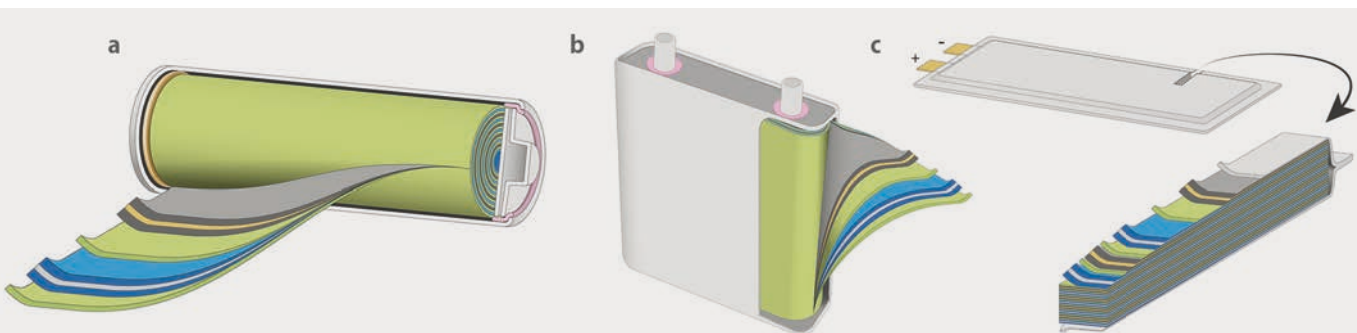


Abb. 2 Die Batteriezellen gibt es in zylindrischer (a) und prismatischer (b) Bauform sowie als „Pouches“ (c). Ihre Komponenten, wie Separator (grün), Kathode (blau) und Aluminiumleiter (grau) sowie Anode (dunkelgrau) und Kupferleiter (gelb), sind in Schichten angeordnet.