

ALTER REDUZIERT REICHWEITE: WIE LANGE LEBT DIE BATTERIE IM ELEKTROFAHRZEUG?

FACHBEITRAG ELEKTRONIK AUTOMOTIVE

Jeder wiederaufladbare Akku verliert mit der Zeit unwiederbringlich an Speicherkapazität. Ein Phänomen, das jeder von Heimelektronik kennt: Die Firma Apple gibt für die Akkus ihrer iPads beispielsweise eine nutzbare Kapazität von 80 Prozent nach bis zu 1.000 Vollzyklen an. Auch die Lithium-Ionen-Akkus in Elektrofahrzeugen verlieren mit der Zeit an Kapazität. Eine dauerhafte Minderung der Reichweite und ein spürbarer Wertverlust des E-Cars sind die Folge. Doch wovon ist die Haltbarkeit der Batterie abhängig? Und was bedeutet das für die E-Mobility-Branche?

Im Gegensatz zu Fahrzeugen mit einem Verbrennungsmotor sind Elektroautos einfach gebaut. Es gibt an den meisten Komponenten nur geringen mechanischen Verschleiß. Außerdem kommt ein Elektroauto ohne Getriebe, Kupplung, Katalysator, Kraftstofftank, Lichtmaschine und viele andere Bauteile aus. Studien zufolge kosten Reparaturen von E-Cars durchschnittlich um bis zu 35 Prozent weniger als die Instandsetzung von Autos mit Verbrennungsmotor. Elektroautos könnten also sehr lange leben. Wäre da nicht die Antriebsbatterie. Sie beeinflusst im besonderen Maße die tatsächliche Lebensdauer eines Elektrofahrzeugs.

Der Akku ist das Herzstück eines jeden Elektrofahrzeugs. Er ist der entscheidende Faktor für die Reichweite des Autos. So ist momentan die potenziell zurücklegbare Strecke eines der wichtigsten Argumente für oder gegen den Kauf eines E-Cars. Geht über die Nutzungszeit die ohnehin schon beschränkte Leistungsfähigkeit der Traktionsbatterie weiter verloren, hat das weitreichende Konsequenzen. Das Elektroauto kann weniger Strecke mit einer vollen Akkuladung zurücklegen. Auch steht weniger Leistung, etwa im Beschleunigungsvorgang, zur Verfügung. Damit geht ein erheblicher Wertverlust des Elektroautos einher.

Falls bei Wiederverkauf oder am Ende des Leasings die Batterie eines gebrauchten E-Cars ausgetauscht werden muss, wird dies schnell teuer. So kostet beispielsweise der 24-kWh-Ersatzakku für einen Nissan Leaf rund 5.000 Euro.

WELCHER KAPAZITÄTSVERLUST IST NORMAL?

Die nutzbare Kapazität von wiederaufladbaren Lithium-Ionen-Akkus, der sogenannte „State of Health“ (SOH), unterliegt sowohl einer kalendarischen als auch einer zyklischen Alterung. Das gilt auch für Elektrofahrzeuge. Das heißt, die Speicherkapazität der Autobatterie geht zum einen im Laufe der Zeit von ganz allein verloren, zum Beispiel beim Lagern oder beim Parken des Autos. Zum anderen liefern die Batterien mit zunehmender Anzahl der Betriebszyklen immer weniger Leistung, da sie durch die Ladevorgänge und das Fahren beansprucht werden.

Über den tolerierbaren Kapazitätsverlust von Traktionsbatterien in E-Fahrzeugen wird unter Nutzern kontrovers diskutiert. Kürzlich hat die US-Non-Profit-Organisation Plug In America (PIA) unter anderem die Batterie des Tesla Roadsters untersucht. Basis war ein Feldversuch, bei dem anonyme Berichte und Daten von mehr als 100 Tesla-Besitzern ausgewertet wurden. Das Ergebnis: Nach umgerechnet 160.000 Kilometern Fahrstrecke hat die Tesla-Batterie immer noch eine Kapazität von 80 bis 85 Prozent.

Nissan war 2013 einer der ersten Hersteller, der bei seinem Elektromodell Leaf die Garantieleistung über Defekte und Fertigungsfehler hinaus auch auf Leistungsverluste der Antriebsbatterie ausdehnte. Demnach soll der Akku des Elektroautos in den ersten fünf Jahren oder über die ersten 100.000 Kilometer





Blick in die Testräume für Lebensdauerprüfungen im Battery Testhouse der SGS (Quelle: SGS Battery Testhouse München)

mindestens 70 Prozent seiner Ursprungskapazität behalten. Fällt der Wert unter diese Grenze, wird die Batterie ersetzt oder überarbeitet. Als Maßstab für die Kapazität gilt dabei die Anzeige im Bordcomputer. Diese muss mindestens neun der zwölf Ladebalken anzeigen. Andere Hersteller zogen mit vergleichbaren SOH-Garantien nach.

WAS PASSIERT BEI DER BATTERIEALTERUNG?

Im Laufe der Zeit ändern sich die Eigenschaften eines Batteriesystems. Die einzelnen Zellen bestehen aus verschiedenen Materialien, die in Kontakt stehen und miteinander reagieren können. Mit zunehmender Lebensdauer eines Akkus lassen sich dabei zwei Effekte beobachten: Zum einen nimmt sukzessive die Kapazität der Batterie ab, worunter die Reichweite des Elektrofahrzeuges leidet. Zum anderen steigt der Innenwiderstand des Akkus an, was zu einem Leistungsverlust etwa während des Beschleunigungsvorgangs führt.

Für den Alterungsvorgang einer Batterie sind physikalisch-chemische Effekte verantwortlich – etwa der Verlust von Elektrodenoberflächen und wiederaufladbarem Elektrodenmaterial, das Auftrennen von elektrischen Leitpfaden oder eine erhöhte Ladungs-Transfer-Impedanz.

Für die Alterung von Akkus gibt es also viele Ursachen. Besonders herauszustellen sind Veränderungen an der Grenzfläche zwischen Anode und Elektrolyt (sog. Solid Electrolyte Interface, SEI). Durch chemische Prozesse wächst diese Schicht im Laufe der Lebensdauer immer weiter an. Darunter leidet die Kapazität

der Batterie. Die Lithium-Ionen, die in Verbindungen überführt werden, können nicht mehr elektrochemisch reagieren. Außerdem nimmt die Dicke der Schicht zu, die Lithium-Ionen im Elektrolyt durchwandern müssen. Dies lässt wiederum den ohmschen Widerstand innerhalb der Batterie anwachsen.

Darüber hinaus führen auch mechanische Belastungen zur Alterung der Batterie. Diese entstehen beispielsweise, wenn die Lithium-Ionen in die Aktivmaterialien eingelagert werden. Dadurch können Spannungen auftreten, die schließlich Risse innerhalb der Partikel bilden, die dann auseinanderbrechen. Außerdem kann eine Degeneration des Binders zur Folge haben, dass einzelne Partikel des Aktivmaterials nicht mehr elektrisch angebunden sind.

WAS LÄSST AKKUS BESONDERS SCHNELL ALTERN?

Eine neue Batterie hat einen State of Health (SOH), also eine nutzbare Kapazität, von 100 Prozent. Ist sie vollständig geladen, hat das Fahrzeug eine bestimmte Reichweite, zum Beispiel von 140 Kilometern. Ob die volle Distanz zurückgelegt werden kann, hängt jedoch erheblich von der Geschwindigkeit, der Fahrweise und vom Einsatz von Stromverbrauchern wie Klimaanlage, Entertainmentsystem und Heckscheibenheizung ab. Altert die Batterie, kommt es zu Kapazitätseinbußen. Bei 90 Prozent SOH sinkt die Reichweite etwa um zehn Prozent. So kann der Fall eintreten, dass eine tägliche Strecke von 110 Kilometern, die in den ersten Jahren ohne Zwischenladung zurückgelegt werden konnte, im dritten Jahr nur noch mit Einbußen an Fahrperformance und Kom-

fort und ab dem sechsten Jahr nur noch mit einem Ladestopp absolviert werden kann. Die Reichweite von ursprünglich 140 Kilometern ist um ein Viertel auf 105 Kilometer gesunken.

Die SOH-Reduktion lässt sich dabei, wie bereits beschrieben, sowohl auf die kalendarische als auch die zyklische Alterung des Akkus zurückführen. Die Lebensdauer der Batteriezellen ist aber auch von den Betriebsbedingungen, der Fahrweise, dem Ladeverhalten, den eingesetzten Materialien und der Qualität des Herstellungsprozesses abhängig. Je nach Anwendungsfall, Auslegung der Lithium-Ionen-Batteriezelle und Nutzungsumständen wird also die Haltbarkeit des Akkus unterschiedlich sein.

Im Zusammenspiel aller Einflussgrößen spielt bei der Batteriealterung die Zelltemperatur die bedeutendste Rolle. Akkus verlieren schneller an Leistungsfähigkeit, wenn die Umgebungstemperatur hoch oder die Wärmeabfuhr des Batteriepacks schlecht ist. Temperaturen über 30 Grad Celsius bedeuten eine hohe Belastung für Lithium-Ionen-Akkus. Dass der Tesla Roadster im Feldversuch auch nach 160.000 Kilometern Laufleistung immer noch 80 bis 85 Prozent seiner ursprünglichen Kapazität aufweist, liegt unter anderem an der eingesetzten aktiven Kühlung. E-Cars ohne ein vergleichbares Kühlsystem können wesentlich schneller an Reichweite verlieren. So hat Plug In America (PIA) in einer Umfrage unter Fahrern des Nissan Leaf einen deutlichen Klimaeffekt nachgewiesen. Elektrofahrzeuge, die in wärmeren Regionen gefahren wurden, büßten demnach viel schneller an Akkukapazität ein.

Und auch die US-Behörde für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE) kommt zu einer ähnlichen Einschätzung: Wird ein Elektroauto wie ein Nissan Leaf beispielsweise in Phoenix (Arizona) gefahren, wo die Temperatur an besonders heißen Sommertagen auf bis zu 46 Grad Celsius ansteigen kann, wirkt sich das negativ auf die Lebensdauer der Traktionsbatterie aus. Der Akku wird bereits fünf bis zehn Jahre früher an sein Ende kommen als in gemäßigten Klimazonen, in denen es im Sommer nur um die 20 Grad Celsius warm wird.

Die negativen Auswirkungen hoher Temperaturen auf die Lebensdauer der Antriebsbatterie in Elektrofahrzeugen provo-

zierte den Chefentwickler des Chevrolet Volt sogar zu einer bemerkenswerten Aussage: „The Volt may not be right for everyone. If you live in the Southwest, depending on how you use your car, the Volt might not be right for you“, wird Andrew Farah von verschiedenen Branchenmedien zitiert.

Eine hohe Umgebungstemperatur ist dabei jedoch nicht das einzige Problem. So kommt es beim Auf- und Entladen des Akkus auch zu einer Selbsterwärmung der Batteriezellen. Das beschleunigt wiederum den Alterungseffekt. Abhilfe gegen diese Temperatureffekte schafft eine aktive Kühlung des Akkus. So verfügt ein identisches Batterie-Pack mit Flüssigkeitskühlung nach zehn Jahren über eine zehn Prozent höhere Restkapazität als sein ungekühltes Pendant.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der Alterungseffekte von Batterien beeinflusst, ist das Ladeverhalten. Insbesondere Vollzyklen, bei denen Akkus an ihre maximale Entladungstiefe (Depth of Discharge, DOD) kommen, haben einen direkten, negativen Effekt auf die Lebensdauer. Eine E-Car-Batterie sollte also möglichst selten komplett entleert, sondern vielmehr regelmäßig und bei jeder Gelegenheit geladen werden. Das reduziert die elektrochemische Belastung für den Akku und erhöht dessen Lebensdauer. Intelligente Batteriemanagementsysteme (BMS) berücksichtigen diesen Effekt im Rahmen der Reichweite. Außerdem sorgen sie dafür, dass die Akkus nicht tiefentladen oder überladen werden.

Darüber hinaus spielt auch das Schnellladen bei der Batteriealterung eine Rolle. Denn das Laden mit hohen Strömen beansprucht in besonderem Maße die Akkuzellen. Wenn ein Batteriesystem nicht optimal darauf ausgelegt ist, kann es durch das Schnellladen zu lokalen Überhitzungen kommen, die den Degenerationsprozess des Akkus beschleunigen.

Mechanische Einwirkungen und andere Umwelteinflüsse können die Lebensdauer einer Antriebsbatterie ebenfalls beeinflussen. Im Münchener Battery Testhouse der SGS werden daher sowohl die Zellen als auch die gesamten Batteriepacks umfangreichen Performance- und Haltbarkeitstests unterzogen. Sie werden dabei Vibrationen, extremen Temperaturschwankungen, Salznebel, Spritzwasser, Staub oder Schadgasen ausgesetzt – und das sowohl in Wechselwirkung der einzelnen Faktoren als auch unter Simulation realistischer Lade- und Fahrzyklen.



Aufbau eines Vibrations- tests für Traktionsbatterien mit überlagerten Temperaturprofil und Bestromung (Quelle: SGS Battery Testhouse München)

WIE LÄSST SICH DIE LEBENSDAUER EINER BATTERIE BESTIMMEN?

Sowohl für die Fahrzeug- als auch für die Batteriehersteller ist es wichtig, möglichst genau das Alterungsverhalten ihrer Antriebsakkus zu kennen – entweder um durch technische Verbesserungen die Lebensdauer weiter zu verlängern oder um verlässliche Garantiezusagen geben zu können.

Praktische Erfahrungen mit der Alterung von Batterien sind aufgrund der relativ jungen Anwendung der Lithium-Ionen-Technologie im Fahrzeug bisher noch begrenzt. Als Alternative greift die Industrie daher auf beschleunigte Alterungsverfahren zurück, bei denen der gesamte Lebenszyklus einer Traktionsbatterie in einer möglichst kurzen Zeitspanne nachgestellt wird. In Prüflaboren, wie etwa bei der SGS, trennt man dafür die kalendarische und die zyklische Alterung auf, da ihnen unterschiedliche physikalische Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen. So ist eine genauere Extrapolation zu höheren Lebensdauern und Fahrleistungen möglich. Die kalendarische Alterung wird durch Temperaturerhöhung beschleunigt und dabei periodisch durch Parametermessungen überprüft. Parallel dazu kann auch ein hoher Ladezustand bei Lagerung als weiterer Beschleunigungseffekt mit einbezogen werden. Die zyklische Alterung kann zusätzlich durch den Ladedurchsatz pro Zeit erhöht werden, etwa über die C-Rate oder die Entladetiefe. So wird in geraffter Zeit eine Lebensdauerprüfung möglich.

Und auch mit Blick auf das gesamte Batteriesystem geht man in der Regel zweistufig vor: Zunächst wird die Alterung der Zelle bestimmt, die unter anderem von der Wahl des Aktivmaterials, des Elektro-

lyten und des Binders abhängt. Hierbei können beispielsweise auch direkt an den Zellen die Alterungsmechanismen untersucht werden. Hier kommt beispielsweise die Impedanz-Spektroskopie zum Einsatz. Im zweiten Schritt ist eine Lebensdaueruntersuchung auf Speicherebene notwendig. Denn nur so kann ermittelt werden, wie die Haltbarkeit durch die packspezifische Anordnung der Akkuzellen, das Batterie-Management-System aus Zellsteuerung und Zell-Balancing sowie die Kühlung beeinflusst wird.

Entscheidend bei den Testverfahren ist, dass alle Faktoren der Batteriealterung berücksichtigt werden und gleichzeitig realistische Lasten an der Batterie anliegen – also die Belastungen eines Akkus im tatsächlichen Fahrbetrieb nachgestellt werden. Beispiele für solche Fahrzyklen sind dabei etwa EUCAR-HEV Specification 2005 und FreedomCar DOE/ID-11069. Es können auch gemessene, fahrzeugspezifische Fahrprofile geprüft werden. Ergänzend dazu werden dann während der Lade- und Fahrzyklen verschiedene Umweltbedingungen durch Vibration, Feuchte oder Hitze, einzeln oder in Kombination miteinander simuliert. Zu Beginn und am Ende einer Testreihe – und teilweise auch zwischenzeitlich – werden Performancemessungen durchgeführt. Die SGS verfügt über entsprechende Prüfeinrichtungen. Neben Klimakammern und schnellen Hochleistungs-DC-Stellern, die vollständige Fahrzyklen simulieren können, kommen gesteuerte Flüssigkeits-Temperatur-Einrichtungen zum Einsatz, die die Temperatursteuerung im Fahrzeug nachstellen. Realtime-Computer steuern zudem den Messplatz und überwachen und speichern alle relevanten Parameter der Batterie.



Experten des Prüfinstituts SGS bestimmen in Testreihen die Lebensdauer von Batterien
(Quelle: SGS Battery Testhouse München)

AUSBLICK: LANGLEBIGE STROMSPEICHER WERDEN WICHTIGER

Das Altern einer Batterie kann nicht verhindert werden. Aber es gibt vielversprechende Ansätze, mit der die Industrie eine deutlich verlängerte Lebensdauer von Lithium-Ionen-Akkus erreichen möchte. Aus gutem Grund, denn die Frage nach der Haltbarkeit eines Akkus ist nicht nur für die Anwendung im E-Mobility-Bereich von großer Bedeutung. Ähnliche Energiespeicher werden etwa auch als Pufferbatterien für Wind- und Solarstrom eingesetzt. Dort ist die vor-

aussichtliche Lebensdauer eine wichtige Kalkulationsgröße, da hier Investitionsentscheidungen über lange Zeitperioden getroffen werden müssen. Stationäre Energiespeicher, die bei Photovoltaikanlagen überschüssigen Strom aus sonnenreichen Phasen zwischenspeichern und diesen dann abends und nachts wieder zur Verfügung stellen, müssen 7.000 und mehr Zyklen ohne nennenswerten Kapazitätsverlust überstehen.

Allerdings sind moderne Akkus komplexe Systeme. Alle Fortschritte bei der Lebensdauer, die beispielsweise durch eine ver-

besserte Batteriematerialien erreicht werden können, haben womöglich andere Nachteile. So könnte etwa der Einsatz neuer Materialien die Kosten in die Höhe treiben oder zusätzliche Sicherheitsrisiken hervorrufen. Gerade deswegen kommt im Zuge der Markteinführung neuer Energiespeicher umfassenden Testreihen eine große Bedeutung zu.

ÜBER DEN AUTOR



Detlef Hoffmann ist Diplom-Physiker und seit 2012 Business Development Manager für E-Mobility-Services beim Prüfinstitut SGS. In dieser Funktion ist er für alle Test-Services im Bereich Elektromobilität, Batterien und erneuerbare Energien zuständig. Davor war er Abteilungsleiter für die Labore für elektromagnetische Verträglichkeit und Produktsicherheit bei Siemens Networks in München.

KONTAKTDATEN:

SGS GERMANY GMBH, HOFMANNSTRASSE 50, 81379 MÜNCHEN

DIPL.-PHYS. DETLEF HOFFMANN, T +49 89 787 475 - 400

DETLEF.HOFFMANN@SGS.COM, WWW.SGSGROUP.DE/BTH

DIE SGS-GRUPPE IST DAS WELTWEIT FÜHRENDE UNTERNEHMEN IN DEN BEREICHEN PRÜFEN, TESTEN, VERIFIZIEREN UND ZERTIFIZIEREN.

WHEN YOU NEED TO BE SURE

SGS