



Festkörperbatterien für Elektroautos: Serienproduktion bis 2025?

Bei Diskussionen zum Thema Batterieforschung für Elektroautos stehen Festkörperbatterien derzeit im Mittelpunkt. Die Vorteile gegenüber Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigem Elektrolyten werden diskutiert – und ehrgeizige Ziele gesetzt. Wir haben drei Experten gefragt, ob und wie sie erreicht werden können.

Festkörperbatterien, Batterien mit einem festen Elektrolyten aus Keramik oder einem Polymer, werden als neue Alternative für Lithium-Ionen-Batterien gehandelt. Hauptvorteile sind höhere Sicherheit und zukünftig größere Speicherkapazitäten und schnellere Ladevorgänge [1]. In der Schlagzeile der Automotive News hieß es Ende des vergangenen Jahres nach der Tokyo Motor Show: „Solid-State-Batterien zeigen sich vielversprechend“. Toyota stellte dort ein neues Konzept vor, mit dem Festkörperbatterien voraussichtlich Mitte dieses Jahres erstmals auf die Straße kommen sollen. Das Unternehmen gibt an, mit der Serienproduktion von Festkörperbatterien voraussichtlich in 2025 zu beginnen [2]. Derzeit ist Toyota führend mit einem sulfidischen anorganischen Festelektrolyten mit einer etwa dreimal so hohen Leitfähigkeit wie bei einem flüssigen Elektrolyten [3].

In einem Interview mit der MTZ 3/2020 sagte Prof. Dr. Philippe Vereecken, Wissenschaftlicher Leiter des Forschungszentrums imec und Professor an der Universität von Leuven (Belgien), zur Frage nach einer serienreifen Produktion: „Erste Zellen werden voraussichtlich um 2025 auf den Markt kommen. Es wird erwartet, dass ihre Ener-

giedichte etwa im Jahr 2030 die von Flüssigzellen überholen wird, wenn auch Anoden aus Lithium-Metall zur Verfügung stehen.“ [3]

Auch Volkswagen steigt ein

In 2018 gab VW bekannt, in das kalifornische Technologieunternehmen QuantumScape zu investieren, mit dem Ziel einer Großserienproduktion von Feststoffbatterien. Auch hier heißt es: „Das langfristige Ziel ist die Errichtung einer Produktionsanlage für Feststoffbatterien bis 2025“. Von den Feststoffbatterien erhofft sich der Konzern höhere Energiedichten, mehr Sicherheit, bessere Schnellladefähigkeit und einen deutlich geringeren Platzbedarf als bei Lithium-Ionen-Batterien. Doch es wurde festgestellt: „Fortschritte sind bislang schwer zu erreichen“. [4]

Nachdem 2025 zum Jahr des großen Durchbruchs erklärt wurde, stellt sich die Frage: Wer soll dieses ehrgeizige Ziel umsetzen und vor allem wie? Damit bringen wir die Diskussion dorthin zurück, wo sie angefangen hat: Zur Forschung im Bereich keramischer Technologien. ◀

Literaturhinweise

- [1] Springer Professional: „Was sind Festkörperbatterien?“. www.springerprofessional.de/link/16555642 [22.10.2019]
- [2] Automotive News: „Solid-state batteries show promise“. www.autonews.com/shift/solid-state-batteries-show-promise [24.11. 2019]
- [3] MTZ 3/2020: „Batteriezellen „Made in Germany“ – Ein Weg mit Hindernissen“. www.springerprofessional.de/link/17597866 [1.2.2020]
- [4] Volkswagen: „Volkswagen kooperiert mit QuantumScape und sichert sich Zugang zur Feststoffbatterie-Technologie“. www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/volkswagen-kooperiert-mit-quantumscape-und-sichert-sich-zugang-zur-feststoffbatterie-technologie-102 [21.6.2018]

Expertenfrage: Welche technischen Herausforderungen müssen in der Forschung zu Festkörperbatterien noch gelöst werden und wie realistisch ist eine Markteinführung bis 2025?

Finsterbusch: Die Herstellung von Batteriezellen mit keramischen Elektrolyten ist fundamental anders als die der klassischen Lithium-Ionen-Batterien (LIB), daher existieren bisher nur kleinere Zellen für Spezialanwendungen. Für großformatige keramische Zellen existieren noch keine Erfahrungen im industriellen Maßstab oder mit der „economy of scale“. Es gibt zwei Hauptklassen keramischer Elektrolyte. Zum einen die sulfid-basierten Materialien, welche extrem hohe Li-Ionen Leitfähigkeiten zeigen und aufgrund ihrer Duktilität keinen Hochtemperatur-Sinterprozess benötigen. Forschungsbedarf besteht hier bei ihrer Stabilität gegenüber den Aktivmaterialien sowie der Skalierbarkeit von Synthese- und Herstellungsprozessen, welche in Inertatmosphäre erfolgen müssen. Dieser Ansatz wird derzeit von Toyota und Samsung verfolgt. Die zweite Klasse keramischer Elektrolyte ist Oxid-basiert. Sie zeigen ebenfalls deutlich höhere Leitfähigkeiten als Polymer-Elektrolyte, können weitestgehend in Luft synthetisiert und verarbeitet werden und haben die höchste intrinsische Sicherheit aller Elektrolytmaterialien. Forschungsbedarf besteht hier in der Verarbeitung, besonders dem Sintern bei hohen Temperaturen, sowie den Alterungsmechanismen der Festkörperzellen. Sind diese Forschungsfragen geklärt, müssen Produktionskapazitäten aufgebaut werden. Dies wird, abgeleitet von klassischen LIBs, etwa 5 Jahre in Anspruch nehmen. Hier gibt es inzwischen viele Start-ups, welche versuchen den

Schritt in die (Klein-) Serienproduktion zu schaffen. Daher ist ein Markteintritt rein keramischer Zellen in kleinem Umfang zwar bis 2025 realistisch, konkurrenzfähige Großserienproduktion, wie sie für den Automobilmarkt nötig ist, wird aber wahrscheinlich nicht vor 2030 stattfinden.



© Finsterbusch

Dr. Martin Finsterbusch

Als Leiter der Arbeitsgruppe „Festkörperbatterien“ am Forschungszentrum Jülich erforscht Dr. Martin Finsterbusch keramische Batterien als zukünftige Energiespeichertechnologie. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten reichen von neuartigen Werkstoffen über die Herstellung keramischer Komponenten bis hin zum Aufbau verschiedener Batterietypen.

Mutter: In einer Festkörperbatterie wird der üblicherweise flüssige Ionenleiter (Elektrolyt), der die Elektroden (Anode und Kathode) räumlich voneinander trennt, und dadurch elektronisch isoliert, durch einen Feststoff ersetzt. Das große Potential dieser Technologie liegt in der Aussicht, die Energiedichte der Batterie und damit unter anderem die Reichweite von Elektrofahrzeugen deutlich zu steigern. So ermöglicht ein Feststoffelektrolyt prinzipiell die Verwendung von metallischem Lithium als Anode, welches in Kontakt mit flüssigen Elektrolyten zu schädigenden Reaktionen führt. Die kritischen notwendigen Bedingungen an einen Festkörperelektrolyten sind eine gute Ionenleitfähigkeit, ein hoher elektronischer Widerstand, sowie ein guter mechanischer Kontakt an den Grenzflächen zu den Elektroden, der über viele hundert Lade- und Entladezyklen strukturell und elektrochemisch stabil bleibt. Die größte wissenschaftlich-technische Herausforderung besteht darin, Materialkombinationen zu identifizieren, die alle diese Voraussetzungen erfüllen. So erreichen beispielsweise einige Keramiken wie LGPS [Li₁₀GeP₂S₁₂] oder LAMP [Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO₄)₃] hohe Ionenleitfähigkeiten, enthalten aber andererseits leicht elektronisch reduzierbare Elemente, welche unerwünschte Grenzflächenreaktionen mit den Elektrodenmaterialien begünstigen. Dadurch entstehen Zwischenschichten, die wiederum die Leitfähigkeit herabsetzen. Da noch viel Forschungsbedarf besteht, ist mit einer Markteinführung von Batterien, die auf rein keramischen Elektrolyten basieren, vor 2030 nicht zu rechnen. Jedoch gibt es vielversprechende Konzepte zu Kompositelektrolyten aus Polymeren mit keramischen Additiven, deren Marktreife bereits früher zu erwarten ist.



© Mutter

Dr. Daniel Mutter

Dr. Daniel Mutter ist am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in der Gruppe Materialmodellierung tätig. Kürzlich veröffentlichte er im Journal of Applied Physics seine Arbeit zur atomaren Simulation verschiedener Kombinationen chemischer Elemente für NZP-Keramiken zur Steigerung der Ionenleitfähigkeit von Feststoff-Elektrolyten. Für seine Leistung erhielt Dr. Mutter den Werkstoffmechanik-Preis 2019.

Birke: Die Entwicklung wiederaufladbarer Batteriezellen ist eine Evolution, keine Revolution. Leider beobachtet man bis in die jüngste Zeit hinein den Glauben an eine „Wunderbatterie“ und an einen „Quantensprung“ in der Batterieentwicklung. Beides gibt es aber nicht! Das bezieht sich auf die oft völlig überzogene Erwartungshaltung an eine schnelle Umsetzung neuer Batterieansätze in ein kommerzielles Produkt. Sehr wohl könnte man aber aus heutiger Sicht bereits für 2025 einen ersten Masterplan für eine Lithium-basierte Festkörper- oder Feststoffbatterie benennen, wenn man dabei nicht nur Materialaspekte einzelner Komponenten, sondern auch „Engineering“ berücksichtigt. Wie könnte der „Masterplan Lithium-Festkörperbatterie 2025“ aussehen?

Um überhaupt Vorteile einer Lithium-basierten Feststoffbatterie bezüglich nennenswerter Energiedichteerhöhungen schöpfen zu können, muss die negative Elektrode aus metallischem Lithium (Li) oder alternativ einer Lithium-Silizium Legierung, die einen hohen Lithiumanteil beim zyklischen Betrieb zulässt, bestehen. Als geeigneter Elektrolyt hat sich in den letzten Jahren Thio-LISICON mit der Summenformel $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ sowie seine Weiterentwicklungen (Derivate) herauskristallisiert. Hier werden sogar Leitfähigkeiten im Korn von über 10^{-2} S/cm berichtet, eine Voraussetzung in einer geeignet hergestellten Gesamtelektrode 5×10^{-3} S/cm im Komposit zu erreichen. Es bestehen Hoffnungen, dass ein Pulver dieses Elektrolyten mit einem inerten Hilfsbinder derart zu Folien verdichtet werden kann, dass eine zufriedenstellende Kontaktierung der einzelnen Körnchen verbunden mit einer ausreichenden Dichte der Folie zur Dendritensuppression erreichbar ist.

Von großer Wichtigkeit ist das Stabilitätsfenster des festen Elektrolyten. Er muss stabil gegenüber metallischem Lithium sein. Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass Ionenleiter wie $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ mit NCM (8:1:1)-Kathoden, $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,1}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_2$, die als sehr aussichtsreiche Kandidaten für Li-Ionen Zellen gehandelt werden, kompatibel sind. Der „Masterplan 2025“ ist somit eine $\text{Li}|\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}|\text{NCM}$ (8:1:1)-Zelle. Wichtige Eckpfeiler sind eine in-situ Abscheidung des Li-Metalls beim ersten Laden und eine ausreichend verdichtete Elektrolytfolie mit dem sulfidischen Elektrolyten sowie das Auffinden eines geeigneten Binders. Derivate von dem sulfidischen Elektrolyten und dem NCM sind möglich. Eine der gravierenden Änderungen der Batterieproduktion wird dann sein, dass die Zelle unter Druck formiert, also das erste Mal geladen werden muss, und dieser Druck nicht unterbrochen werden darf. Dies hätte irreversible De-Kontaktierungen zur Folge und es gibt keinen Flüssigelektrolyten mehr, der einen benetzenden Kontakt aufrecht erhalten könnte.

Damit ist die Pouch-Zelle gesetzt, also das Einhäusen in tiefgezogene Aluminiumverbundfolie. Nur solche Zellen können komprimiert werden, ohne Schaden zu nehmen und gleichzeitig einen ausreichenden zerstörungsfreien Druck auf den inneren Aufbau der Zelle auszuüben. Dabei können nur die Module, also bereits verschaltete Zellen, formiert werden, da sonst nicht der Druck auf die Zelle aufrechterhalten werden kann. Die Volumenschübe in der

Batterie, verursacht durch die metallische Lithumanode, stellen die größte neue Herausforderung für solche Batterien dar. Zum einen beeinträchtigen sie erheblich die erreichbare volumetrische Energiedichte, zum anderen stellt dies sehr große Anforderungen an den Einbauort der Batterie und das Batteriegehäuse an sich.

Zuletzt muss auch ein nahezu porenfreier Verdichtungsprozess der ionisch leitenden Elektrolytfolie und der positiven Elektrode, die auch Anteile des Festelektrolyten enthält, möglich sein, und trotz inerter Binderanteile müssen ionische Gesamtleitfähigkeiten beziehungsweise die Diffusion ausreichende Werte erreichen. Das verlangt unter Umständen auch nach tiefgreifenden Modifikationen beim klassischen Beschichtungsprozess, wie er aus der Li-Ionen-Technologie bekannt ist.

Wie sieht die Zusammenfassung aus? Ein „Masterplan für die Li-Festkörperbatterie 2025“ lässt sich formulieren! Daher sollte man insbesondere in Europa nicht den unverzeihlichen Fehler begehen, bezüglich kommerzieller Li-Feststoffbatterien für die Elektromobilität untätig abzuwarten. Für Automobilhersteller tut sich hier eine große Chance auf, denn das Thema „Festkörperbatterie“ wird schneller kommen, als manche im Moment zu denken wagen. Ohne Zweifel gibt es dann noch sehr lange Zeit eine Koexistenz zur wichtigen konventionellen Li-Ionen Technologie. Und es ist noch nicht absehbar, über welche technischen Hürden die Feststoffbatterie noch gehen muss. Aber Batterieentwicklung war und ist immer eine Evolution und ein zukünftiger weiterer Ast im Stammbaum wird die Batterie mit Feststoff-Elektrolyten sein.



© Birke

Prof. Dr. Kai Peter Birke

Prof. Dr. Kai Peter Birke ist Professor für Elektrische Energiespeichersysteme an der Universität Stuttgart und Mitglied des Fraunhofer IPA (Institut für Produktionstechnik und Automatisierung) Stuttgart, wo er das Zentrum für digitalisierte Batterie-zellproduktion leitet. Zuletzt befasste er sich als Leiter Vorentwicklung Zell- und Batterietechnologie bei SK Continental E-motion mit Batterien für die Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Davor war er bei dem Batteriehersteller Varta tätig.