



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Batterieforschung in Deutschland – Materialien, Prozesse, Zellfertigung



Vorwort

Ein Alltag ohne Batterien ist schwer vorstellbar. Geräte-
batterien für Tablets und Smartphones, Industrie-
batterien für Hochleistungswerkzeuge und Gabelstapler,
Fahrzeugbatterien für die Elektromobilität: Als Strom-
speicher sind Batterien von besonderer Bedeutung für
jeden Einzelnen, aber vor allem auch für den Forschungs-
und Industriestandort Deutschland.

Ziel der Bundesregierung ist es, in Deutschland Batterien
für die verschiedenen Anwendungen zu produzieren.
Die notwendige Forschung treibt das BMBF seit 2007
gezielt voran – Entwicklungen für die Elektromobilität
und industrielle Anwendungen werden beschleunigt und
die Abhängigkeit von anderen Nationen reduziert. Dafür
setzt das BMBF auf den akademischen Wissensaufbau
und die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und
Industrie. Mit verschiedenen Maßnahmen, in denen
unterschiedliche Aspekte wiederaufladbarer Batterien
erforscht werden, schafft das BMBF die Voraussetzun-
gen für Kooperationen und interdisziplinäre Vernetzung.
Die Maßnahmen sind im Dachkonzept Forschungsfabrik
Batterie eng miteinander verzahnt. Die Aktivitäten
einzelner Wertschöpfungsstufen greifen so ineinander,
dass erfolgversprechende Ergebnisse direkt aus der
Forschung in die Industrie transferiert werden können.

Die Förderung gibt Unternehmen und Forschungsein-
richtungen die Chance, aktiv an innovativen Lösungen
mitzuarbeiten, ihre Kompetenzen zu erweitern und
die Wettbewerbsfähigkeit in Deutschland zu erhöhen.
Das BMBF unterstützt Zukunftsforschung und Innova-
toren – die Forschung an aktuellen und zukünftigen
Batteriesystemen trägt dazu bei, Technologiesouveränität
und Arbeitsplätze in Deutschland zu sichern.

Ihr Bundesministerium für Bildung und Forschung

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
1. Batterieforschung – Made in Germany	4
Deutschlands Batterieforschung läuft auf Hochtouren.....	4
Wettrennen um den besten Akku	8
2. Batterieforschung im Blick – Die Strategie des BMBF	12
Das Dachkonzept Forschungsfabrik Batterie	14
Eingeladen aufzuladen – Highlights aus den geförderten Projekten	24
Batterieforschung verbindet – Europäische und internationale Kooperationen.....	30
3. Plus und Minus – Fazit und Ausblick	32
Ist der Batteriestandort Deutschland für die Zukunft gerüstet?.....	33
Batterieforschung gestern – heute – morgen	36
Impressum	39

Einleitung

Wie ist die Funktionsweise einer Batterie, wie sie in einem Elektroauto aber auch anderen Anwendungen verbaut ist? Woran forschen Batterieexpertinnen und -experten heute? Und bestehen wirklich noch so viele verschiedene Herausforderungen? Diese und weitere Fragen werden in dieser Broschüre beantwortet. Außerdem erfahren Sie, weshalb Batterieforschung und eine wettbewerbsfähige Batterieindustrie so wichtig für Deutschland sind; wie Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen arbeiten, damit der Durchbruch gelingt und Deutschland Innovationsstandort für Batterietechnologie bleibt.

Experten aus der Industrie veranschaulichen, wo die Herausforderungen in der Batterieforschung liegen und was zu tun ist, um wettbewerbsfähig zu sein. Neben einer exzellenten Forschung, hochqualifizierten Arbeitskräften und einer starken Industrie kommt der öffentlichen Forschungsförderung eine bedeutsame Aufgabe zu. Anhand ausgewählter Forschungsprojekte erhalten Leserinnen und Leser einen Einblick in die Maßnahmen, die das BMBF in den letzten Jahren initiiert hat, um hochgesteckte Ziele zu erreichen. Es werden vielfältige Lösungsansätze und Ergebnisse präsentiert, die in enger Kooperation an deutschen Hochschulen, Forschungsinstituten und mit der Industrie erarbeitet wurden – von der Materialforschung bis zur Anwendung – national wie international.

Lesen Sie, was Expertinnen und Experten zum Status quo der deutschen Batterieforschung sagen und wie Deutschland für die Zukunft gerüstet ist.





1. Batterieforschung – Made in Germany

Deutschlands Batterieforschung läuft auf Hochtouren

Weshalb sind eine wettbewerbsfähige Batterieindustrie und eine erfolgreiche Batterieforschung so wichtig für Deutschland? Wie kann die Batterieforschung dazu beitragen, sichere, leistungsfähige und kostengünstige Batterien in Deutschland zu produzieren?

Die Anzahl der Anwendungen von Batterien nehmen stetig zu und betreffen alle Lebensbereiche: In der Mobilität dienen sie dem Antrieb von kleinen und großen Elektro-Fahrzeugen. In stationären Anwendungen sichern sie unsere zunehmend dezentrale Energieversorgung. Für Kommunikation, Gesundheit und Freizeit sind sie allgegenwärtige Stromlieferanten. Ein Blick auf die erwarteten Entwicklungen lohnt sich.

Für die nächsten Jahre bis 2030 ist mit einem Markthochlauf im Bereich der batteriebasierten Elektromobilität zu rechnen¹.

Dabei stellen insbesondere optimierte Lithium-Ionen-Batterien eine Schlüsseltechnologie für Elektroautos und deren wichtigste Antriebstechnologie der Zukunft dar. Für Batterien sind E-Autos nicht nur der wichtigste, sondern auch mit Abstand der größte Wachstumsmarkt. Je nachdem welche Studie zugrunde gelegt wird, könnte ihr Anteil ab 2030 zwischen 25 und 75 Prozent an den globalen Neuzulassungen liegen. Dies führt zu einer jährlichen Batterienachfrage von 1 bis 6 TWh (das entspricht etwa 15 bis 80 Mio. Elektroautos mit einer durchschnittlichen Batteriegröße von 75 kWh) und entsprechend mehreren hundert Milliarden Euro Marktvolumen. Mit dem rasanten Markthochlauf bei Elektroautos werden in kürzester Zeit also große Mengen an Batterien benötigt. Damit die Batterie nicht zum Show-Stopper für eine Auto-Exportnation wie Deutschland wird, sollten auch Batteriezellen vor Ort produziert werden. Aktuell gibt es in der Tat Ankündigungen von asiatischen ebenso wie deutschen bzw. europäischen Zellherstellern solche Kapazitäten aufzubauen (siehe Kapitel 3).

¹ Auch andere Kraftstoffe und Antriebstechnologien wie Wasserstoff in Kombination mit der Brennstoffzelle oder synthetische Kraftstoffe werden im Rahmen ambitionierter Klimaschutzstrategien zukünftig eine Rolle spielen – allerdings weniger im Pkw-Bereich, sondern eher im Langstrecken- und Schwerlastverkehr sowie dem Schienen-, Flug- und Schiffsverkehr. Es wird erwartet, dass diese Segmente erst in späteren Phasen der Energiewende, also jenseits 2030, und eng verknüpft mit dem Ausbau Erneuerbarer Energien in die breitere Anwendung gehen.

Die zahlreichen weiteren Batterieanwendungen in kleineren und größeren Fahrzeugen (zum Beispiel E-Bikes und weitere Formen der Mikromobilität sowie E-Busse, E-Lkw und E-Baumaschinen) sowie stationären Heimspeichern und industriellen Produkten (zum Beispiel Gabelstapler und Hebebühnen) stellen ebenso enorme und wichtige Wachstumsmärkte dar. Diese dürften sich von bereits heute etwa 15 Prozent der Nachfrage² bis 2030 auf etwa 30 Prozent der Nachfrage entwickeln und zu einer weiteren Nachfrage nach 0,5 bis 3 TWh ab 2030 führen.

Batterien sind aber auch Basis für zahlreiche Anwendungen in tragbaren Geräten im Konsum- und Kommunikationsbereich wie Smartphones und Tablets, in der Medizintechnik (Defibrillatoren, Blutdruckmessgeräte etc.) bis hin zu Elektro- und Gartenwerkzeugen oder Haushaltsgeräten. Batterien nehmen in all unseren Lebensbereichen eine immer breiter werdende Rolle ein.

Das Herzstück jeder Batterie ist die Batteriezelle (siehe: Wie funktioniert eine Batterie?). Auf sie entfällt der größte Teil der Wertschöpfung. Beim Elektroauto entspricht das abhängig von der Batteriegröße bis zu 40 Prozent auf Batteriezell- bis -systemebene: Für die Zukunft der angesprochenen Anwenderbranchen in Deutschland – allen voran der Elektromobilität – und den damit verbundenen Arbeitsplätzen ist daher die Ansiedlung einer Batteriezellfertigung ein bedeutendes wirtschafts- und industriepolitisches Thema. Die große Bedeutung der Batteriezellfertigung ergibt sich insbesondere aus ihrer Rolle als „Enabler“ für die vorgelagerten Wertschöpfungsstufen und die Batterie als Gesamtsystem.

Auf europäischer Ebene dürfte der Bedarf an Batteriekapazitäten im Jahr 2030 bei 1 bis 1,5 TWh liegen. Je GWh Batteriekapazität ist von ca. 40 Arbeitsplätzen in der Produktion von Batteriezellen und -modulen auszugehen – zu Beginn der Massenfertigung dürfte aufgrund fehlender Skaleneffekte der Bedarf sogar mehr als zweimal so hoch liegen. Weitere 200 Arbeitsplätze pro GWh Batteriekapazität entstehen in den vorgelagerten Wertschöpfungsstufen (direkte und indirekte Arbeitsplatzeffekte) – auch hier werden sich

² E-Autos machen aktuell fast 70 Prozent und Gerätebatterien noch 15 Prozent der Nachfrage aus.

Skaleneffekte auswirken. In Deutschland und Europa werden somit langfristig Beschäftigungseffekte von mehreren Hunderttausend Arbeitsplätzen entlang der Batteriewertschöpfungskette erwartet.

Mit einer wettbewerbsfähigen deutschen bzw. europäischen Batterieindustrie wird die Lücke zwischen Spitzenforschung und einer starken Anwenderführerschaft geschlossen. Denn nur mit dem tiefen Verständnis der Batterietechnologie und dem Zugriff auf die Batterieproduktion kann die Industrie die Entwicklung und das Design von innovativen, der Batterie nachgelagerten Produkten von Morgen, wie Elektromobilitätskonzepte auch jenseits des Elektro-PKW oder tragbare Geräte (beispielsweise einer künftigen mobilen Medizintechnik und Diagnostik) mitbestimmen.

Somit kommt der Batterietechnologie neben monetärer Wertschöpfung und der Bedeutung für Beschäftigungspotenziale in Zeiten des Strukturwandels auch eine große strategische Bedeutung für die langfristige Innovationsfähigkeit Deutschlands (und Europas) zu.

Aufgabe von Forschung und Industrie muss deshalb die Entwicklung neuer Technologien und die Qualifizierung von Fachpersonal sein, um die Wertschöpfungskette Batterie auszubauen und wettbewerbsfähig zu machen. Die Politik schafft mit entsprechenden Fördermaßnahmen gute Rahmenbedingungen für Kooperationen zwischen Forschung und Industrie.

Nachhaltige Unterstützung der Batterieforschung, Aufbau einer Batteriezellproduktion in Deutschland, schnellerer Transfer von Forschungsergebnissen in die Anwendung: Das sind die Ziele des BMBF, um bestehende Herausforderungen anzugehen.



Wie funktioniert eine Batterie?

Aufbau und Arten einer Batterie

Eine Batterie ist ein System, welches Energie elektrochemisch speichern und es bei Bedarf wieder in elektrische Energie umwandeln kann. Die Basis einer Batterie bildet die Batteriezelle. Mehrere Batteriezellen können zu Modulen zusammengeschaltet werden. Die Koordinierung und die Steuerung dieser Module, also die geregelte Funktionsweise, erfolgen durch ein Batteriemanagementsystem. Grundsätzlich lassen sich Batterien in zwei Arten unterteilen: Primär- und Sekundärbatterien. Primärbatterien werden im geladenen Zustand produziert und können sich nur ein einziges Mal entladen. Anschließend müssen sie direkt wiederverwertet werden. Sekundärbatterien, auch Akkumulatoren oder kurz Akkus genannt, sind mehrfach wiederaufladbar. Sie kommen in verschiedensten mobilen Geräten wie Laptops, Elektrowerkzeugen oder Elektroautos zum Einsatz. Die zur Verfügung stehende Energie einer Batterie hängt von den verwendeten Materialien und deren Menge ab. Sie bestimmen die grundlegenden elektrischen Eigenschaften einer Batterie.

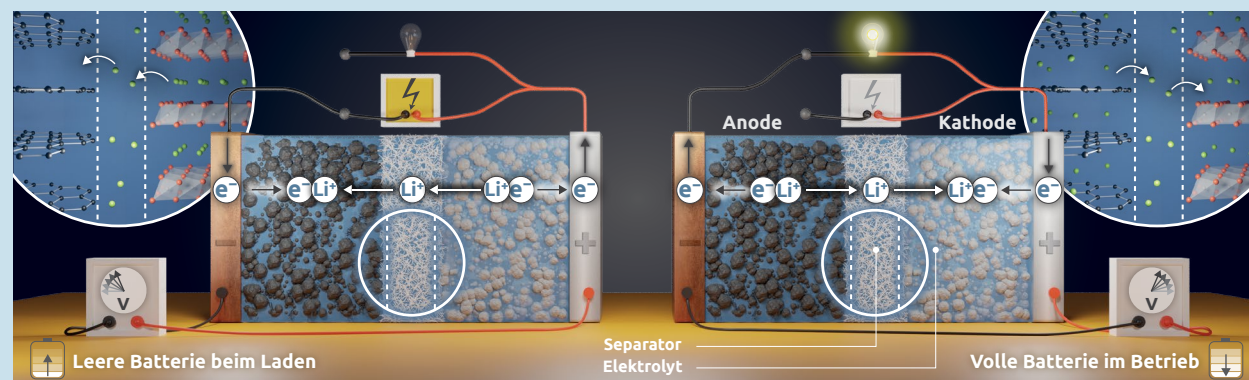
Komponenten und Funktionsweise einer Zelle

Eine Batteriezelle besteht im Wesentlichen aus drei bis vier Komponenten: zwei Elektroden mit je einem Stromableiter, einem Elektrolyten und meist zusätzlich einem Separator. Die Elektroden stellen den positiven und negativen elektrischen Anschluss dar. Durch den leitfähigen Elektrolyten, welcher die Elektroden umgibt, findet ein Ladungsaustausch statt. Ionen, kleine

positiv oder negativ geladene Teilchen, wandern durch den Elektrolyten von der einen zur anderen Elektrode, und umgekehrt. Die Ionen werden in die Elektroden aufgenommen. Um die fehlenden Ladungen auf der gegenüberliegenden Elektrode auszugleichen, werden gleichzeitig Elektronen, kleine negative Teilchen, abgegeben. Durch diese zwei, sich ergänzenden Vorgänge, entsteht ein Stromfluss, der zwischen den Elektroden der Batteriezelle durch Ionen und außerhalb der Zelle durch Elektronen getragen wird. Verbindet man die zwei Elektroden über einen äußeren Stromkreis, fließt Strom. Der Elektrolyt, durch den die Ionen wandern, kann aus festem oder flüssigem Material bestehen. In Zellen mit flüssigem Elektrolyt ist in der Regel ein Separator notwendig, damit kein direkter Kontakt – ein sogenannter Kurzschluss – zwischen den Elektroden entsteht.

Ein Beispiel: Lithium-Ionen-Batterien

Als Sekundärbatterien werden aktuell oftmals Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt. Diese basieren auf dem oben beschriebenen Prinzip. Beim Laden werden Lithium-Ionen und Elektronen aus dem Elektrodenmaterial am Pluspol, einem Metalloxid mit Schichtstruktur, ausgebaut, durch den Elektrolyten und externe Stromleitungen zum Minuspol transportiert und dort in das Elektrodenmaterial, wie beispielsweise Graphit, eingebaut. Dabei steigt die Spannung zwischen den beiden Polen. Beim Entladen der Batterie werden diese Prozesse wieder umgekehrt und Lithium-Ionen und Elektronen gelangen in das Elektrodenmaterial am Pluspol.



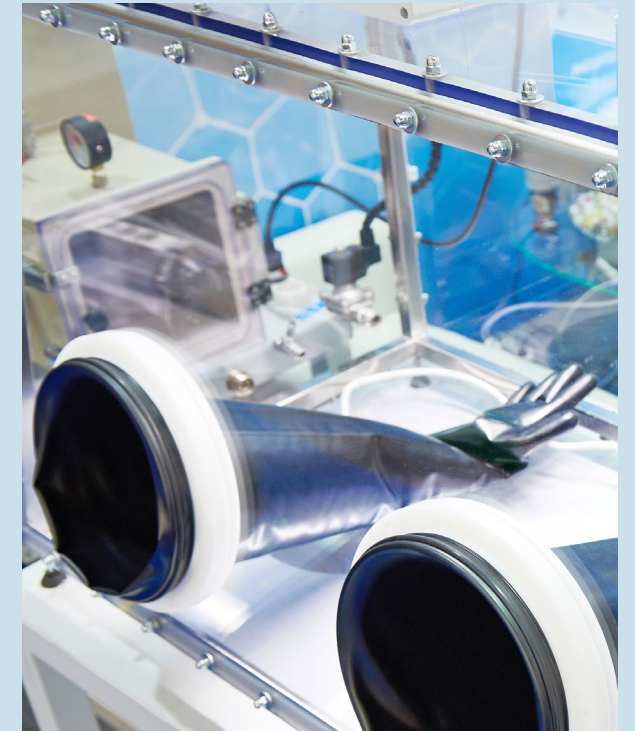
Aufbau und Funktionsprinzip einer Lithium-Ionen-Batterie während des Lade- (links) und Entladevorgangs (rechts).
Quelle: Elisa Monte, Justus-Liebig-Universität Gießen

Tätigkeitsbereiche von Batterie-forscherinnen und -forschern

Die Komplexität von Batterien eröffnet Batterie-forscherinnen und -forschern ganz unterschiedliche Tätigkeitsbereiche, von der Material- bis hin zur Systemforschung. Die folgenden Beispiele ermöglichen einen Einblick in spannende Forschungsbereiche:

Ein Tätigkeitsschwerpunkt ist die Entwicklung und Optimierung chemischer Synthesen. Das Ziel ist die Entwicklung von Materialien, welche die Erhöhung von Energie- und Leistungsdichten sowie die Steigerung der Lebensdauer von Batteriezellen ermöglichen. Dafür ist auch ein tiefergehendes Verständnis über Vorgänge notwendig, die in den eingesetzten Materialien der Batteriekomponenten ablaufen. Simulationen und elektrochemische Charakterisierungen werden in der Praxis in Zusammenarbeit von Physikerinnen und Physikern, Chemikerinnen und Chemikern sowie Materialwissenschaftlerinnen und Materialwissenschaftlern bearbeitet.

Nach einer erfolgreichen Entwicklung vielversprechender Materialien folgt die eigentliche Batteriezellproduktion. Materialsynthese und -verarbeitung gilt es dafür vom Labor- in den Industriemaßstab zu übertragen. Eine gute Materialprozessierung ist hierbei in erster Linie wichtig für die Elektrodenfertigung. Beim Zusammenbau der Elektroden und der anderen Komponenten zu einer Batteriezelle, der Zellassemblierung, sind gewisse Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen. Bei der sogenannten Formierung werden die ersten Lade- und Entladezyklen unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Diese Aufgaben sowie die Verschaltung einzelner Batteriezellen übernehmen oft Elektroingenieurinnen und -ingenieure. Ingenieurinnen und Ingenieure der Verfahrens- und Produktionstechnik arbeiten parallel an der Konfiguration, Verknüpfung und Automatisierung der beschriebenen Fertigungsschritte.



Bei der Forschung an zukunftsweisenden Batterietechnologien ist die Mitwirkung von Umwelt-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern ebenfalls enorm wichtig. Mit Blick auf die Weiterentwicklung der Elektromobilität und den Ausbau regenerativer Energiesysteme müssen mit dem Technologiefortschritt verbundene Wechselwirkungen mit Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt untersucht werden. So sind im Falle der Batterietechnologie beispielsweise Fragestellungen des Rohstoffbedarfs einer Zellfertigung sowie des Recyclings und einer Zweitnutzung von Batterien außerordentlich relevant (Kreislaufwirtschaft). Untersuchungsgegenstand sozio-ökonomischer Konzepte sind ebenfalls die Einflüsse einer leistungsfähigen Energiespeicherung auf Transport-, Gebäude- und Energieinfrastrukturen sowie auf Veränderungen industrieller Branchen und lokaler Wirtschaftsräume.

Wettrennen um den besten Akku

Wo liegen die Herausforderungen in der Batterieforschung? Wie schafft es Deutschland diese zu meistern, um auch im internationalen Umfeld wettbewerbsfähig zu sein? Expertinnen und Experten wurden gefragt, was noch besser werden muss, damit Deutschland sich eine Spitzenposition sichert. Die Expertenstatements zeigen, eine nachhaltige Batterieforschung beschränkt sich nicht alleine auf Bereiche wie die Materialforschung oder Batteriezellproduktion, sondern muss durchgängig entlang der Wertschöpfungskette und in einer Kreislaufwirtschaft verstanden und entwickelt werden. Der entscheidende Erfolgsfaktor für Deutschland ist die vollständige Kompetenz entlang der gesamten Batterie-Wertschöpfungskette, um international eine starke Position zu erlangen.

Materialentwicklung



Dr. Andreas Fischer, BASF

Um im internationalen Umfeld konkurrenzfähig zu sein, ist es aus Sicht der Materialforschung notwendig, die Expertise im Bereich Elektrochemie und Analysemethoden an Universitäten und Forschungseinrichtungen deutlich auszuweiten. Nur so lässt sich ein tiefgehendes Verständnis entwickeln, um die komplexen Prozesse in einer Batteriezelle zu verstehen. Ein enger Schulterschluss von Academia mit der Industrie ermöglicht die Entwicklung passgenauer und marktfähiger Materialien. Parallel dazu sollte ein weiteres Augenmerk auf der Verbesserung bestehender Materialien sowie auf ganz neuen, disruptiven Ansätzen liegen. Hier ist die Stärkung einer Start-up Szene wünschenswert, die innovative Ansätze schnell und kreativ umsetzen kann.

Hinsichtlich der Weiterentwicklung von Materialien sind neben der Steigerung von Energiedichte und Lebensdauer auch anwendungsspezifische Kosten und Nachhaltigkeit von Bedeutung. In diesem Sinne wird zum Beispiel angestrebt, Kobalt in Kathodenmaterialien soweit wie möglich durch kostengünstigere und nachhaltigere Elemente wie Nickel oder Mangan zu substituieren. Neben der Materialforschung ist die Förderung einer entsprechenden Prozessentwicklung unabdingbar, um aus eigener Kraft in Deutschland wettbewerbsfähig im Weltmaßstab produzieren zu können. Damit Elektromobilität nachhaltig ist, bedarf es geeigneter Recyclingverfahren, um wertvolle Rohstoffe zurückzugewinnen.

Prozesssimulation



Dr. Jochen Zausch, Fraunhofer ITWM

Obwohl Computersimulationen in der Batteriecommunity in den letzten Jahren zunehmend mehr Beachtung erfahren, scheinen sie bei Weitem noch nicht die Reife und den Stellenwert zu haben, der in anderen Entwicklungszweigen bereits besteht. Insbesondere ist es wichtig, nicht einzelne Prozesse in der Produktionskette getrennt zu simulieren, sondern diese zu verknüpfen und die ganze Prozesskette abzubilden. Technologiefortschritt werden wir nicht durch Simulation und Optimierung einzelner Dispergier-, Beschichtungs-, Trocknungs- und Kalandrierprozesse erreichen. Die Möglichkeit, eine durchgehende Prozesskette numerisch beschreiben zu können, würde es erlauben, den Einfluss einzelner Prozessparameter auf die finalen Produkteigenschaften besser bewerten zu können und so den Produktionsprozess effizienter zu gestalten und gleichzeitig die Batterieeigenschaften zu verbessern.

Aber nicht nur die Kopplung der Prozessschritte ist notwendig, sondern auch die Weiterentwicklung der verwendeten Einzelmodelle. So hat sich beispielsweise seit vielen Jahren das sogenannte Newman-Modell zur elektrochemischen Beschreibung von Lithium-Ionen-Zellen etabliert. Aber gerade neue technologische Anforderungen wie das Schnellladen, eine verbesserte altersbedingte Degradation oder neue Zellkonzepte bzw. gänzlich andere Zellchemien (zum Beispiel Festkörperbatterien) erfordern verstärkt fundierte Modellentwicklungen.

Batteriezellproduktion



Dr. Daniela Werlich, Custom Cells

Die Hauptherausforderung liegt in der fehlenden Erfahrung bei der Zellproduktion bzw. von Serienfertigungen in Deutschland und der EU. Ziel der Bestrebungen von Bund und EU muss daher sein, eine Zellproduktion in der EU zu fördern, um die gesamte Wertschöpfungskette der Lithium-Ionen-Technologie abzubilden. So könnte ein Industriezweig entstehen, der unabhängig von Fördermitteln ist. Darüber hinaus gilt es bereits jetzt die Produktion der nächsten Generation von Lithium-Ionen-Zellen vorzubereiten, zum Beispiel durch die Weiterentwicklung des TRL der All-Solid-State-Technologie.

Eine enge Kooperation zwischen Zellproduzenten und FuE in Deutschland sichert dann, wie die Bereiche Material und Komponenten erfolgreich zeigen, die schnelle Weiterentwicklung und Wettbewerbsfähigkeit. Die gezielte Förderung produktionsrelevanter Technologien und Prozesse ermöglicht es frühzeitig, Erfahrung zu sammeln und dringend benötigte Fachkräfte für die Zellproduktion auszubilden. Erst eine EU-Zellproduktion schafft die notwendige Basis dafür, EU-Standards bei Produkten, Ökologie sowie Ethik zu entwickeln und durchzusetzen. Bei den Themen nachhaltige und energieeffiziente Produktion, nachhaltige Rohstoffe und ethisch vertretbare Rohstoffgewinnung sowie Recycling können mit EU-Standards wertvolle Beiträge geleistet werden. Diese Themen können über enge Kooperation mit FuE effektiver und offener entwickelt werden als Unternehmen es zum jetzigen Zeitpunkt allein vermögen.

Leistungsparameter



Dr. Jörg Reim, Volkswagen AG

Die Arbeitspunkte in der Batteriezellentwicklung für die Elektromobilität leiten sich direkt von den Wünschen der Kunden an ein Elektrofahrzeug ab, die Komfort, Fahrspaß und Nachhaltigkeit zu angemessenen Kosten erwarten. Eine der größten Herausforderungen besteht darin, die Schnellladefähigkeit und die Energiedichte von Batteriezellen gleichzeitig weiter zu steigern, ohne dabei Einschränkungen bei der Lebensdauer der Zellen eingehen zu müssen, natürlich bei weiter fallenden Kosten.

Dies kann nur gelingen, wenn man das System ganzheitlich betrachtet, also vom Batteriepack über das Zell- und Elektroden-Design bis hin zur Materialauswahl und effizienten Produktionsverfahren. Es werden innovative Materialkonzepte mit hohen Energiedichten benötigt, Elektroden mit niedrigen Innenwiderständen, aber auch Optimierungen von Ladeprofilen und Wärmeabfuhrkonzepten. Ein Schlüssel zum Erfolg liegt daher in der frühzeitigen Vernetzung der Fachexpertinnen und -experten aus den verschiedenen Disziplinen der Batterieforschung.

Automatisierung



Dr. Michael Roscher, LioVolt

Die Integration von Batteriezellen, die Montage von Batteriemodulen und Speichersystemen entwickeln sich positiv – auf diesen Gebieten wurde in Deutschland über die letzten Jahre viel erreicht und eine wettbewerbsfähige Kompetenz aufgebaut. Das trifft sowohl auf der Seite der Systemintegratoren als auch im Maschinenbau zu.

Eine zentrale Herausforderung besteht nach wie vor darin, die Zeiten für Installation, Inbetriebnahme und Einfahren von Anlagen zu reduzieren, um auf kurze Produktlebenszyklen reagieren zu können und flexibel den sich rasch ändernden Markt zu bedienen. Dies erfordert neben einem schlanken Produktmanagement auch agile, vernetzte Prozesse und insbesondere die konsequente Anwendung von Standards.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, den Batterieproduzenten Tools und Maschinen an die Hand zu geben, die robust arbeiten. Das bedeutet, dass sie unter anderem in der Lage sind, Varianzen in den Eingangsprodukten zu erkennen und in der Produktion darauf reagieren können.

Der Schlüssel für diese Herausforderungen liegt in der Anwendung adaptiver Steuerungsalgorithmen und im intelligenten Umgang mit Daten.

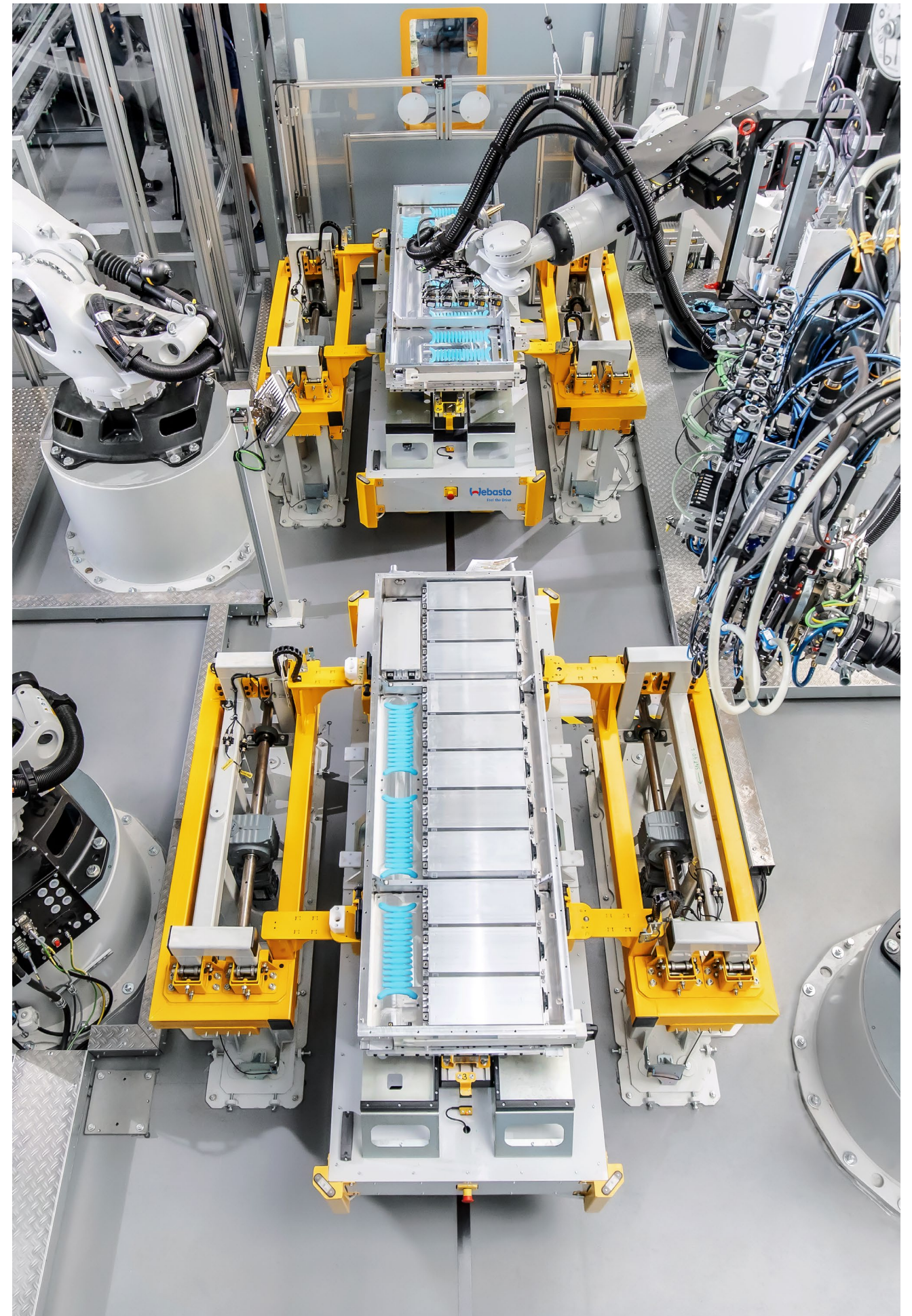
Ressourcen/ Kreislaufwirtschaft



Dr. Paul Spurk, UMICORE

Die Elektromobilität benötigt Systemlösungen, welche auf großen Mengen metallischer Rohstoffe basieren. Hierbei müssen ökologische und ökonomische Ziele in Einklang gebracht werden, was ohne eine funktionierende und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft nicht möglich sein wird. Fundamentale Innovationen entlang der Wertschöpfungskette müssen durch gesetzliche Rahmenbedingungen flankiert werden. Besonders in Europa, wo kaum für die Mobilitätswende benötigte Rohstoffe abgebaut werden, ist eine erfolgreiche Umsetzung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft zentral. Hierfür gilt es Geschäftsmodelle und Logistikkonzepte zu entwickeln, die eine umfassende Erfassung und Rückführung von Altbatterien aus Europa – auch grenzüberschreitend – zu hochwertigen Verwertungsanlagen gewährleisten: die Rückführung in der nächsten Dekade langsam ansteigender Mengen an Altbatterien wirtschaftlich, ressourceneffizient und ökologisch zu organisieren, Datenmanagement und Digitalisierung zur optimierten Kooperation zwischen den Akteuren einzusetzen und eine Transparenz über die realen Stoffströme und über den Erfolg der Kreislaufwirtschaft zu erzeugen sind Fragen, die es zu klären gilt.

Im Bereich des Batterierecyclings besteht FuE-Bedarf vor allem bei der Optimierung der Verwertungskette und Schnittstellen, von der automatisierten Demontage über die mechanisch-thermische Vorbehandlung bis hin zur metallurgischen Gewinnung hochreiner Batterierohstoffe mit maximierter Ausbeute, die dann erneut Eingang in die Batterieproduktion finden müssen. Anforderungen an das Batteriedesign bedürfen weiterer Forschung.





2. Batterieforschung im Blick – Die Strategie des BMBF

Weltweit steigt die Nachfrage nach Batterien – insbesondere durch die Elektromobilität. Doch bisher kommen die meisten Batterien für E-Autos aus Asien. Deutschland stellt sich den Herausforderungen und arbeitet mit Hochdruck daran, entsprechende Kapazitäten zur Batteriezellproduktion aufzubauen. Die Voraussetzungen mit einer starken Forschung, hochqualifizierten Arbeitskräften und einer starken Autoindustrie sind gut. Das BMBF bringt die exzellente Forschung und die notwendigen Industriepartner für die Batteriezellproduktion zusammen.

Seit 2007 unterstützt das BMBF die Batterieforschung in Deutschland in großem Umfang. Davor war die weltweite Batterieforschung noch maßgeblich auf Batterien für Anwendungen der Konsumelektronik fokussiert. Die Forschungslandschaft in Deutschland war dabei auf wenige Akteure konzentriert. Durch strategisch aufeinander abgestimmte Maßnahmen werden seitdem unterschiedliche Aspekte wiederaufladbarer Batterien erforscht und Kompetenzen im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien ebenso wie alternativer Batteriesysteme für elektromobile, stationäre, industrielle und weitere Anwendungen gestärkt. Dabei verfolgt das BMBF einen breiten Ansatz: Es unterstützt den akademischen Wissensaufbau im Bereich der Batteriematerialien und Prozesstechnologien von Batteriezellen. Die Maßnahmen zielen auf die Steigerung von Anzahl, Qualität und Ausstattung entsprechender Kompetenzzentren für die Batterieforschung ab.

Es werden nachhaltige Strukturen geschaffen, um die Grundlagen für eine Batteriezellfertigung mit aktuellen und zukünftigen Zellkonzepten zu legen. Ein weiterer Schwerpunkt ist der Transfer der Ergebnisse aus der Forschung in die Industrie – vom Labormaßstab in einen industrietauglichen Maßstab und schlussendlich in die industrielle Anwendung. Die Fördermaßnahmen zielen allesamt darauf ab, Innovationslücken zu schließen.

In die unterschiedlichen Maßnahmen des BMBF zum Thema Batterieforschung sind in den letzten zehn Jahren rund 700 Millionen Euro geflossen. Mithilfe dieser Unterstützung ist die Batterieforschung mittlerweile wieder international anerkannt und die Batterie-Wertschöpfungskette in großen Teilen durch starke Industriepartner abgedeckt – trotz vielfältiger Initiativen des BMBF und der Bundesregierung fehlt jedoch nach wie vor eine wettbewerbsfähige, großskalige Batteriezellproduktion in Deutschland.

Um das als „Valley of Death“ bekannte Phänomen zwischen den Technology Readiness Level 4 und 7 sowie den Übergang zu einer industriellen Massenfertigung von Batteriezellen zu erleichtern, muss die vom BMBF initiierte Innovationspipeline kontinuierlich befüllt und eine Übertragung der Forschungsergebnisse in Richtung großskalige Batteriezellproduktion erfolgen. Es ist das Ziel, innovative Forschungsergebnisse (Technologien, Verfahren, Anlagen etc.), die zwar in ihrer prinzipiellen Funktion bestätigt sind, aber noch hinsichtlich ihrer Machbarkeit in konkreten Anwen-

dungen überprüft werden müssen, zu fördern. Nur so können der Transfer in die Industrie ermöglicht und Markteintrittshürden für neue Hersteller gesenkt werden. Die Unterstützung dieser ambitionierten Pläne hat sich das BMBF zur Aufgabe gemacht. Mit dem Dachkonzept und den einzelnen Fördermaßnahmen, die im folgenden Kapitel vorgestellt werden, unterstützt das BMBF deshalb die Demonstratorentwicklung, prototypische Tests und die Skalierung auf dem Papier, im Labor und in der Anlage, damit die vielversprechendsten Technologien den industriellen Maßstab erreichen.

Batterieinnovationen beschleunigen



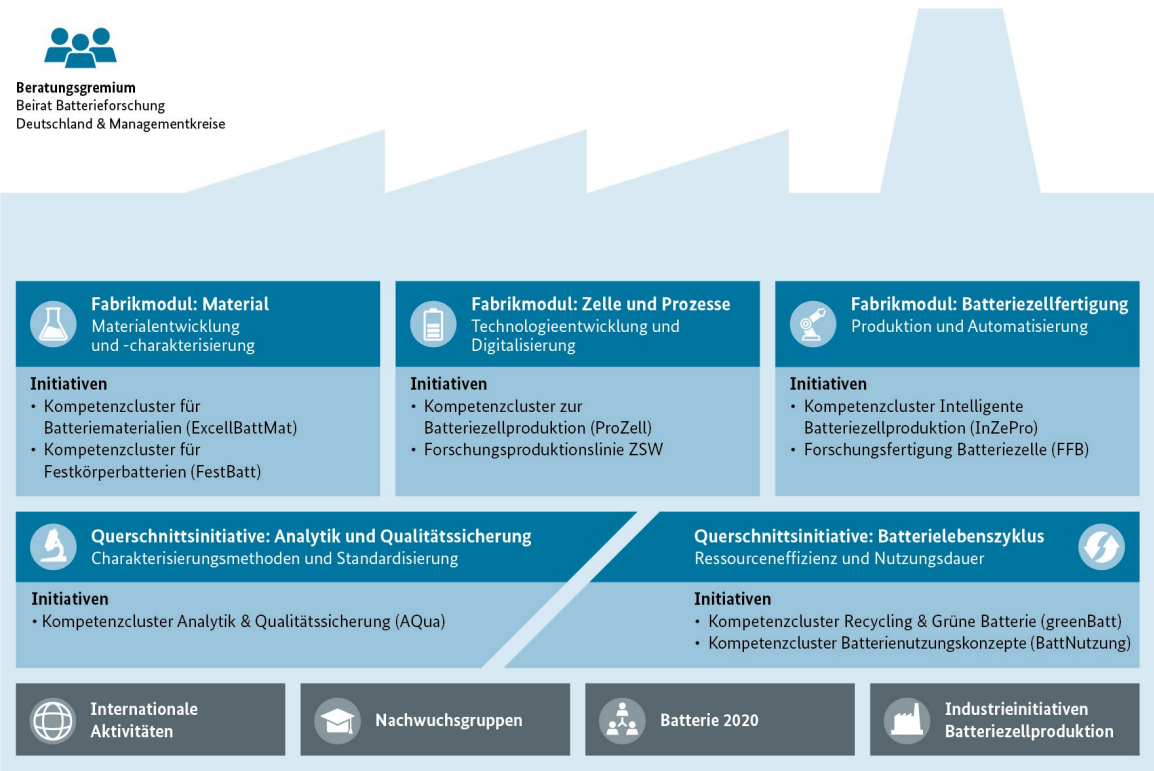
Schematische Darstellung der Batterie-Innovationspipeline von der Grundlagenforschung in die industrielle Anwendung (TRL: Technology Readiness Level). Quelle: BMBF

Das Dachkonzept Forschungsfabrik Batterie

Das Dachkonzept Forschungsfabrik Batterie vereint BMBF-Fördermaßnahmen und -programme zur Batterieforschung. Mit dem Dachkonzept unterstützt das BMBF förderpolitisch den Aufbau einer wettbewerbsfähigen, großskaligen Batteriezellproduktion in Deutschland und leistet einen wesentlichen Beitrag zur europäischen Batterieallianz und der Mission der Hightech-Strategie 2025. Das BMBF baut dabei auf bestehende Kompetenzen und das erfolgreiche Batterieforschungsnetzwerk.

Das Dachkonzept kombiniert Fördermaßnahmen mit missionsorientierten und themenoffenen Ansätzen. Der missionsorientierte Bereich umfasst die forschungsseitige Unterstützung der Materialentwicklung und -charakterisierung, der Prozessentwicklung und Digitalisierung sowie der Produktion von Batteriezellen und ihrer Automatisierung. Begleitet werden alle Maßnahmen durch Aktivitäten zur Erhöhung von Effizienz und Langlebigkeit der Batterien sowie zum Ressourcenschutz. Diese Themen bzw. die Fördermaßnahmen werden innerhalb des Dachkonzepts in Fabrikmodulen und Querschnittsinitiativen realisiert oder zusammengefasst. In den Modulen sind bereits folgende Strukturen etabliert:

Im Fabrikmodul Material wird an Materialien für aktuelle und zukünftige Batteriesysteme geforscht. Im Kompetenzcluster für Batteriematerialien (ExcellBattMat) werden Batteriekonzepte mit flüssigen Elektrolyten untersucht. Die früheren ExcellentBattery Zentren wurden im Rahmen des Kompetenzclusters zusammengeführt. Die Arbeiten im Fabrikmodul Material werden mit dem Kompetenzcluster für Festkörperbatterien (FestBatt) durch Untersuchungen zum gleichnamigen Batteriesystem ergänzt. Ziel ist es, Materialtechnologien so zu entwickeln, dass sie in skalierbaren, industrietauglichen Prozessen hergestellt werden können.



Darstellung des Dachkonzepts Forschungsfabrik Batterie mit den drei Modulen Material, Zelle und Prozesse, Batteriezellfertigung.
Quelle: BMBF

Die Erarbeitung vielversprechender Batteriezell- und Prozesstechnologien sind aktuelle Themen des Kompetenzclusters zur Batteriezellproduktion (ProZell). Auf der Forschungsproduktionslinie am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) in Ulm werden in Zusammenarbeit mit den bereits genannten Kompetenzclustern erarbeitete Material- und Zellkonzepte in einem ersten Schritt mit Blick auf die Massenproduktion getestet und validiert. Der Kompetenzcluster ProZell und die Forschungsproduktionslinie (FPL) am ZSW bilden das Fabrikmodul Zelle und Prozesse.

Besonders aussichtsreiche Technologien, die in den Fabrikmodulen Material oder Zelle und Prozesse erarbeitet wurden, sollen in einem nächsten Schritt in einer großskaligen Forschungsfertigung für Batteriezellen erprobt werden. Die Forschungsfertigung Batterie-zelle (FFB) soll neuartige Batteriezellkonzepte und -prozesse mit digitalisierten, flexiblen und modularen Fertigungsmethoden kombinieren und erforschen. Die Forschungsfertigung Batterie-zelle soll perspektivisch die wettbewerbsfähige Massenproduktion von Batterie-zellen ermöglichen und damit eine Überführung neuartiger Zellkonzepte und Produktionstechnologien in die industrielle Großserienfertigung gewährleisten. Die FFB wird in Münster gebaut. Das Fabrikmodul Batterie-zellfertigung wird ergänzt durch den Kompetenzcluster Intelligente Batteriezellproduktion (InZePro). Ziel ist es, mithilfe von Roboter- und Automatisierungslösungen maximale Kosteneinsparungen und eine ressourceneffiziente Batterieproduktion von den Anlagen bis zur Fabriklösung zu erreichen.

Begleitet werden die Aktivitäten in den Fabrikmodulen durch Querschnittsinitiativen. Die Querschnittsinitiative Batterielebenszyklus verfolgt material-, prozess- und produktionsbasierte Ansätze für eine „grüne Batterie“ sowie auch die Betrachtung verschiedener Batterie-nutzungskonzepte. Ziel der Querschnittsinitiative ist es unter anderem, die Fragen zu beantworten, wann sich die Zweitnutzung einer Batterie für welche Anwendung lohnt und unter welchen technischen Voraussetzungen und Kostenaspekten Materialien zurückgewonnen werden sollten. Die Schwerpunkte sollen im Rahmen von neuen Kompetenzclustern umgesetzt werden.

Mit dem Dachkonzept Forschungsfabrik Batterie fördert das BMBF in Fabrikmodulen und Querschnittsinitiativen sowie weiteren themenoffenen Initiativen nachhaltig den Investitionsstandort Deutschland im Batteriebereich. Wissenschaft und Wirtschaft arbeiten eng miteinander für eine technologische Souveränität Deutschlands im globalen Batteriegeschehen.

Im Fokus des Kompetenzclusters Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) stehen die Schaffung einer nachhaltigen Materialbasis durch Einsatz recycelter Rohstoffe und umweltfreundliche Rohstoffgewinnung sowie Prozessinnovationen für energie- und ressourceneffizientes Recycling bzw. Rohstoffrückgewinnung. Damit verbunden sind die Bereitstellung von (digitalen) Methoden und Werkzeugen zur Gestaltung und Bewertung von Material- und Prozessinnovationen, zur Erhöhung der Qualität und Verfügbarkeit von Daten über den gesamten Batterielebenszyklus und die Ableitung von Handlungsempfehlungen für die optimale Gestaltung des End-of-Use/-Life.

Im Kompetenzcluster Batterienutzungskonzepte (BattNutzung) sollen das Alterungsverhalten, die Lebensdauer sowie Leistung und Sicherheit der Batteriespeicher betrachtet werden. Das Verständnis von Batterie-zuständen und -verhalten soll durch Früherkennung und Diagnostik sicherheitsrelevanter bzw. -kritischer Zustände erheblich verbessert werden und helfen zu entscheiden, wann eine Zweitnutzung (Second Use) von Batteriespeichern in welcher Anwendung sinnvoll ist. Die gesammelten Daten fließen zurück in die Zellentwicklung und den Fertigungsprozess. Durch diesen iterativen Prozess tragen sie damit zum Ressourcenschutz bei.

Die Querschnittsinitiative Analytik & Qualitätssicherung unterstützt alle Initiativen des Dachkonzepts mit bestehenden und der Entwicklung neuer Analytik(verfahren), um die Effizienz und Langlebigkeit von Batterien zu erhöhen. Ausgangspunkt ist die Charakterisierung der Batterien. Ergänzen sollen sich hier Methoden auf Zellebene mit Methoden auf Materialebene. Zum einen sollen prozessübergreifend Eigenschafts-Struktur-Beziehungen zwischen Fertigungsfehlern und der elektrochemischen Performance der Batterien ermittelt

und darauf aufbauend Toleranzfenster für Kriterien der Qualitätssicherung definiert werden. Zum anderen sollen Eigenschaften und Prozesse auf Materialebene analysiert werden, um ein tiefergehendes Verständnis des Materialverhaltens in Batterien zu ermöglichen.

Die Umsetzung des gesamten Dachkonzepts Forschungsfabrik Batterie erfolgt im Schulterschluss mit allen relevanten Akteuren aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Industrie und Politik. Das Risiko ist hoch, insbesondere wenn es nicht gelingt, dass die Akteure an einem Strang ziehen. Der Governance des Dachkonzepts Forschungsfabrik Batterie kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Übergeordnet kümmert sich ein interdisziplinär besetztes Gremium um ein kooperatives Zusammenwirken von Fabrikmodulen und Querschnittsinitiativen. Mit dem Gremium werden die Materialien und die Konzepte diskutiert, welche weiterverfolgt werden sollten.

Mit Blick auf die europäische Batterieallianz und die HTS 2025 unterstützt das BMBF die Etablierung einer wettbewerbsfähigen, großskaligen Batterie-zellproduktion in Deutschland – das ist die Mission des Dachkonzepts Forschungsfabrik Batterie. Alle Module des Dachkonzepts wirken zusammen. Erfolgversprechende Ergebnisse werden in die nächste Wertschöpfungsstufe des Dachkonzepts gegeben und in die Industrie transferiert.

Fabrikmodul: Material



Kompetenzcluster ExcellBattMat

Bereits in der 2012 initiierten Förderinitiative ExcellBattMat, welche später im Rahmen des Kompetenzclusters ExcellBattMat zusammengeführt werden sollten, war der Erwerb von Knowhow zur Fertigung innovativer Lithium-Ionen- und Lithium-Metall-Batterien angelegt. Die Frage nach neuartigen Materialien für die nächste Batterie-Generation bezog sich nicht nur auf wissenschaftliche Fragestellungen wie Energiedichte, Lebensdauer und Sicherheit, sondern auch

auf ökonomische und geopolitische Aspekte, was zum Beispiel die Kostenentwicklung und Materialverfügbarkeiten betrifft. Mit der Initiative wurden exzellente Batterieforschungsaktivitäten in Deutschland gefördert, die Anzahl an Forschenden gesteigert sowie der Wissenstransfer von FuE-Ergebnissen in die Industrie intensiviert. Insgesamt wurden vier Batteriezentren durch das BMBF gefördert: Zwei waren auf Batterietechnik fokussiert, zwei weitere auf Prozesstechnik für Komponenten zur Zellfertigung. Die von international renommierten Wissenschaftlern geleiteten Gruppen waren regional transdisziplinär vernetzt. Alle vier Zentren wurden in einer zweiten Phase bis 2019 weitergefordert.

Der im November 2019 gestartete Kompetenzcluster für Batteriematerialien ExcellBattMat stellt eine Neuausrichtung und Integration der Fördermaßnahme ExcellentBattery im Fabrikmodul Material dar. Materialaspekte und die Vernetzung der ExcellentBattery-Zentren rücken noch stärker in den Vordergrund. Der Fokus von ExcellBattMat liegt im Wesentlichen auf der Entwicklung, Charakterisierung und Erprobung neuer anwendungsrelevanter Materialkonzepte für Hochenergiebatteriesysteme – wobei nicht nur Aktiv- und Inaktivmaterialien, sondern auch Elektrolyte und neuartige Elektrodenkonzepte berücksichtigt werden.

Mit der Bündelung der experimentellen, analytischen und theoretischen Expertise der Verbundpartner in Dresden, München, Aachen/Jülich/Münster und Ulm versteht sich der ExcellBattMat-Cluster als breit aufgestelltes Kompetenzzentrum und als flexible Schnittstelle für die schnelle Beurteilung, Charakterisierung, Weitergabe und Aufbereitung neuer und verbesserter Materialkonzepte. Bei ExcellBattMat liegt der Fokus auf der Materialentwicklung für zukünftige, flüssig-elektrolyt-basierte Systeme, deren Skalier- und Prozessierbarkeit sowie der Untersuchung ihrer Eigenschaften. Hierzu werden unter anderem neue Analysemethoden und Digitalisierungsansätze entwickelt. Da die Materialforschung kein in sich abgeschlossenes Themenfeld darstellt und eine aussichtsreiche Zellfertigung und deren Hochskalierung nur in enger Abstimmung mit der Zellprozesstechnologie gelingen kann, gibt es vielfältige Kooperationen und einen ständigen Austausch mit den Kompetenzclustern FestBatt und ProZell.

Kompetenzcluster FestBatt

Die Entwicklung innovativer Materialien ist unverzichtbar für die Produktion wettbewerbsfähiger Speichertechnologien der Elektromobilität. Festkörperbatterien werden aktuell als mögliche Weiterentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigen Elektrolyten gesehen. Neben der möglichen höheren Energiedichte, der Schnellladefähigkeit und insbesondere der besseren Sicherheitsaspekte können Festkörperbatterien deutliche Vorteile für die Batterietechnologie bieten. Während die Material- und Prozesstechnologien zur Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigem Elektrolyten bereits weit fortgeschritten sind, bedarf es zur erfolgreichen Entwicklung von Festkörperbatterien noch erheblicher Forschungsaktivitäten.

So besteht der dringende Bedarf an hochwertigen Festelektrolyten und (prozess-)technischen Konzepten für deren Verarbeitung, da der Festelektrolyt den Schlüssel zur funktionierenden Festkörperbatterie darstellt.

Hier setzt der seit September 2018 geförderte Kompetenzcluster FestBatt an. FestBatt umfasst zentrale für das Thema Festelektrolyte und Festkörperbatterien relevante Forschungseinrichtungen in Deutschland. Mit einschlägigen Vorarbeiten soll die wissenschaftliche Basis für den Aufbau und die nachhaltige Weiterentwicklung einer international führenden, wettbewerbsfähigen Batteriezellproduktion auch für die nächste Batteriegeneration in Deutschland gelegt werden.

Der Fokus der Arbeiten in FestBatt liegt insbesondere auf Festkörperelektrolyten aus der Materialklasse der Thiophosphate, Oxide sowie Polymere. Materialien mit jeweils hervorragender ionischer Leitfähigkeit sollen präpariert und Syntheserouten hinsichtlich Hochskalierung soweit optimiert werden, dass die Bereitstellung hochwertiger, möglichst kosteneffizienter Elektrolyte zur Produktion von Festkörperbatterien in greifbare Nähe rückt.

Fabrikmodul: Zelle und Prozesse



Kompetenzcluster ProZell

Im August 2016 wurde der erste BMBF-Kompetenzcluster ProZell gestartet – als wissenschaftliche Basis für den Aufbau und die nachhaltige Weiterentwicklung einer international führenden, wettbewerbsfähigen Batteriezellproduktion. Ziel des Kompetenzclusters ProZell ist es, ein tiefgehendes Verständnis der Produktionsprozesse und deren Einflüsse auf die Zellperformance und -qualität sowie Produktionskosten zu erarbeiten.

Um die einzelnen Prozessschritte im Detail zu verstehen und um auch weitreichende kausale Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Prozessschritten zu identifizieren, die für die Eigenschaften der Batterie-zelle mitverantwortlich sind, wurden im Cluster die Kompetenzen und apparativen Ausstattungen deutscher Forschungseinrichtungen zusammengeführt.

Gemeinsam wurden Maßnahmen zur signifikanten Erhöhung der Energiedichte bei gleichzeitiger Steigerung der Durchsatzgeschwindigkeiten und Minimierung der Qualitätsschwankungen erarbeitet, um die Wirtschaftlichkeit einer Zellproduktion in Deutschland substantiell zu verbessern. Die erarbeiteten Zusammenhänge zwischen den Produktionsprozessen mit Material und Struktur auf der einen Seite sowie mit Qualität und Eigenschaften auf der anderen Seite wurden allgemeingültig in Beziehung gesetzt und Handlungsempfehlungen zur weiteren Performancesteigerung und Kostensenkung abgeleitet.

Die erfolgreiche erste Förderphase wird seit Oktober 2019 fortgeführt. Schwerpunkte neben der Optimierung einzelner Produktionsschritte der Batterie-zellen sind die Kosten- und Umweltbewertung und die Entwicklung eines digitalen Zwillings der Batterie-zellproduktion.

Forschungsproduktionslinie, ZSW Ulm

Die Forschungsproduktionslinie (FPL) am ZSW in Ulm ist die bisher größte, wissenschaftliche Batteriezellfertigung in Deutschland. An ihr ist es aktuell möglich, bis zu 300 Batteriezellen pro Tag zu fertigen. Der Aufbau der Anlage wurde durch das BMBF in den Jahren 2012–2014 gefördert.

Die FPL ist ein Hauptbestandteil des ZSW-Labors für Batterietechnologie (eLab). Auf einer Fläche von 10.000 m² sind am eLab Kompetenzen von der Materialforschung über die Prozess- und Produktionsforschung bis hin zum Batterietestzentrum am Standort Ulm vorhanden. Das ZSW ist in der Lage, gestapelte Pouchzellen (im Kleinformat), Rundzellen im 18650-Format und prismatische Zellen im Hardcase zu fertigen. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich von Vor- und Nachteilen verschiedener Zelldesigns. Primär wird am eLab die Entwicklung neuer Material-, Zell- und Produktionskonzepte für optimierte Lithium-Ionen-Zellen verfolgt. Zudem werden Konzepte im (vor)industriellen Maßstab erstellt sowie die Validierung der Material-, Prozess-, Produkt- und Anlageninnovationen in Mustererien durchgeführt. Die FPL wird unter anderem als übergreifende Referenz- und Integrationsplattform für Projekte genutzt, beispielsweise im Kompetenzcluster ProZell, um den beteiligten Forschungseinrichtungen Referenzelektroden und Zellen bereitzustellen und neue Erkenntnisse zu validieren. Industrieseitig wird die Anlage von Zellherstellern, OEMs, Anlagenbauern und Materialherstellern zur Prozess- und Produktionsforschung genutzt.

Die Erweiterung der Anwendungsbereiche für Batteriezellen und neue Zelltechnologien führen zu neuen Anforderungsprofilen industrieller Nutzer der FPL. Dies macht eine Anpassung der Anlage notwendig. Durch die Erweiterung und die Modernisierung soll eine Flexibilisierung hinsichtlich Zellformaten und Kampagnengröße sowie eine Aktualisierung der Anlagentechnik erreicht werden.

Der Ausbau soll zur Steigerung der Energiedichte, Qualität, Sicherheit, Produktivität und Nachhaltigkeit von flüssigbasierten Lithium-Ionen-Zellen bei gleichzeitiger Senkung der Kosten von Komponenten und Fertigungsprozessen beitragen. Dies kann erreicht werden durch innovative Material-, Zell- und Produk-

tionskonzepte, die auf die FPL transferiert und auf ihre Serientauglichkeit hin getestet werden. Aussichtsreiche Konzepte sollen dann im nächsten Schritt in die Forschungsfertigung Batteriezelle oder andere Batterieferntragungen übertragen und in einem massentauglichen Maßstab weiter prozessiert und untersucht werden.

Fabrikmodul: Batteriezellfertigung



Forschungsfertigung Batteriezelle

Um das entsprechend notwendige Wissen für eine Massenproduktion von Batteriezellen zu schaffen und in die Industrie zu transferieren, soll eine großskalige Forschungsfertigung für unterschiedliche Batteriezellformate in Münster etabliert werden.

Eine wichtige Aufgabe an dieser Stelle ist unter anderem die Validierung der Großserientauglichkeit für die erfolgreiche Kommerzialisierung neuer Anlagen- und Prozesskonzepte durch den deutschen Maschinen- und Anlagenbau. Auch die Bereitstellung eines Zugangs zu neuen Batteriezellen aus lokaler Fertigung insbesondere für kleine und mittelgroße Hersteller von Batteriesystemen mit geringerem Marktvolumen ist für die Entwicklung neuer spezifischer Anwendungen von großer Bedeutung. Die Forschungsfertigung Batteriezelle ermöglicht so den Übergang von der prototypischen Demonstration einzelner Prozessschritte hin zur Qualifizierung durchgängiger Prozessketten. Wesentlich ist die Übertragung erfolgreicher Forschungsergebnisse und ihre Skalierbarkeit und Stabilität in Hinblick auf den Einsatzbereich (z. B. Gigafactories). Die Forschungsfertigung kann derart einen entscheidenden Beitrag zum wirtschaftlichen Erfolg bei der Einführung neuer Produktionstechnologien für eine kosteneffiziente Batteriezellenfertigung liefern.

Die Kernziele des Projekts Forschungsfertigung Batteriezelle liegen im Aufbau der gleichnamigen Forschungsfertigungsanlage, in der neuartige Batteriezellkonzepte und -prozesse mit digitalisierten, flexiblen und modularen Fertigungsmethoden kombiniert und erforscht werden können. Dabei müssen die bestehenden Kompetenzen des Produktionsstandorts Deutschland (hohe Präzision der Anlagen, flexible Fertigungsmodule



und robuste, moderne Produktionsplanung) mit den Kompetenzen der Zellfertigung aus Asien, welche auf weitestgehend starr verketteten Anlagen basieren, kombiniert werden.

Konzipiert und betrieben wird die Forschungsfertigung Batteriezelle durch die Fraunhofer-Gesellschaft in Zusammenarbeit mit den Standortpartnern WWU Münster (MEET) und RWTH Aachen (PEM). Die Bündelung der vorliegenden Kompetenzen in einem in sich geschlossenen Konzept ermöglicht die signifikante Senkung von Eintrittshürden und generiert außerordentliche Wettbewerbsvorteile bei Nutzung modernster Produktionsmethoden für potenzielle Hersteller. Eine weitere wesentliche Rolle spielt die Ausbildung von Fachpersonal, um auch langfristig die benötigten Qualifikationen im Bereich der Batteriezellfertigung in Deutschland zu sichern.

Im Ergebnis wird durch das entstehende Knowhow der Forschungsfertigung Batteriezelle eine einzigartige Forschungsplattform für Forschungseinrichtungen und Unternehmen geschaffen. Die Nutzung durch alle Akteure der Wertschöpfungskette Batterie wird dazu führen, vorhandene Lücken bei der Überführung von ersten Mustern in die industrielle Fertigung zu schließen. Die Forschungsfertigung Batteriezelle dient somit als ein wichtiger zentraler Punkt für den Wissenstransfer der Batterieforschung und Zellfertigung in Deutschland und als Erprobungsplattform für neue Zellfertigungskonzepte, genauso für neue sowie aktuelle Batterietechnologien.

Die Forschungsfertigung Batteriezelle soll sich als zentrales Element der Zellfertigungsforschung in Deutschland und Europa etablieren, an die weitere Standorte der Forschung, aber auch industrialisierte, dezentrale

Standorte über Industrie 4.0 und Digitalisierungstechniken, angebunden und effizient verknüpft werden können. Neue technologische Ansätze und Wissen aus den Bereichen KI und Industrie werden durch den Kompetenzcluster InZePro in die FFB transferiert.

Kompetenzcluster InZePro

Die Mission des BMBF-Kompetenzclusters Intelligente Batteriezellproduktion (InZePro) ist die Reduzierung der Produktionskosten und die Erhöhung der Produktqualität von Batteriezellen. Dabei steht insbesondere die Erhöhung der Produktivität bzw. der Ausbringung der Zellproduktion durch die ganzheitliche Optimierung des Produktionssystems unter Einsatz von Lösungen der Industrie 4.0 im Fokus. Hierbei soll auch die Flexibilität des Produktionssystems hinsichtlich Menge, Format, Material und verwendeten Technologien adressiert werden.

Es sollen allgemeingültige Erkenntnisse und Methoden für Klein-, Mittel- als auch Großserien und deren Skalierbarkeit berücksichtigt werden. Auch gilt es Verluste durch Rüstaufwände, Anlagenausfälle, Ausschuss und Anlaufverzögerungen zu minimieren. Dies soll durch eine flexible Anlagentechnik, virtuelle Modelle zur Inbetriebnahme sowie ein datenbasiertes Qualitäts- und Instandhaltungsmanagement erfolgen. Die Ressourceneffizienz soll aufbauend auf dem digitalen Zwilling des Produktionssystems durch simulations- und datengestützte Wertstromanalysen erhöht werden. Die hierfür notwendigen virtuellen Produktionssysteme, welche die Produktion simulieren sowie Zustände voraussagen können, müssen mit Daten parametrisiert und validiert werden. Die Erfassung der Daten erfolgt über Sensorik, Kommunikation der Anlagen über definierte Schnittstellen sowie Datenaufbereitung und -speicherung in Datenbanken. Stehen echtzeitfähige

Datenbanken und Inline-Sensorik zur Verfügung, kann neben den Prozessen die gesamte Produktionssteuerung inline mittels klassischer Methoden sowie Ansätzen der künstlichen Intelligenz optimiert werden. Ein besonderer Fokus des Kompetenzclusters liegt dabei auf der Erhöhung der Produktqualität.

Querschnittsinitiative: Batterielebenszyklus



In der Querschnittsinitiative Batterielebenszyklus werden Daten, Modelle, Methoden und Werkzeuge mit dem Ziel integriert, nachhaltige Batteriekonzepte für zukünftige Applikationen bereitzustellen – und dies Kompetenzclusterübergreifend.

Kompetenzcluster greenBatt

Der Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) schafft die Voraussetzungen für eine energie- und materialeffiziente Batterieentwicklung durch die konsequente Umsetzung eines ganzheitlichen Life Cycle Engineerings und die Schließung von Material- und Stoffkreisläufen.

Der Bezugsrahmen des Clusters umfasst den vollständigen Batterielebenszyklus mit einem besonderen Fokus auf das Recycling, die systematische Betrachtung der Vorketten von der Rohstoffgewinnung bis zur Materialsynthese bzw. Re-Synthese für bestehende und neue Batteriematerialien sowie die Nutzung von Potenzialen durch die Digitalisierung an der Schnittstelle zum Recycling bzw. zum End-of-Life.

Hierauf aufbauend können Ansätze für eine nachhaltige Rohstoffgewinnung sowie Re-Synthese und ganzheitliche Ansätze für das Life Cycle Design und Engineering untersucht werden. Der Bereich der Digitalisierung dient der virtuellen Abbildung der Recyclingprozesskette mittels Ansätzen der Datenerfassung und -analyse sowie des Daten- und Wissensmanagements zur Identifikation von Optimierungspotenzialen.

Kompetenzcluster BattNutzung

Im Kompetenzcluster Batterienutzungskonzepte (BattNutzung) wird an Methoden zur umfassenden Bewertung von Materialien und Zellen in Bezug auf die

Realisierungs- und Skalierungsmöglichkeiten sowie deren möglichen Anwendungen in verschiedenen Feldern geforscht.

Dazu gehören Abschätzungen zu erreichbaren Marktvolumina und Fallstudien für die zu erwartenden oder erreichten Leistungsparameter. Auch unter Berücksichtigung möglicher Zweitnutzungsoptionen werden die Material- und Zellkonzepte, die in anderen Kompetenzclustern und in den Fabrikmodulen vorgelegt werden, in Bezug auf ihre Sicherheit im Betrieb charakterisiert und analysiert. Dazu gehören die Modellbildung und die experimentelle Analyse der sicherheitskritischen Prozesse und Zustände sowie neuartige Messmethoden und Diagnosealgorithmen zur Vorhersage des Sicherheitsstatus.

Auch werden die Alterungsprozesse experimentell untersucht und quantitative Modelle zu deren Abbildung aufgestellt. Dies dient der Entwicklung beschleunigter Alterungstests. Die Analysen sollen eine zeitnahe Rückmeldung in den Produktionsprozess in Bezug auf die Qualität und Eignung der verwendeten Materialien und Produktionsprozesse geben, um durch schnelle Rückkopplungen den Optimierungsprozess zu beschleunigen.

Querschnittsinitiative: Analytik & Qualitätssicherung



Kompetenzcluster AQua

Die Mission des Kompetenzclusters Analytik/Qualitätssicherung (AQua) ist die Erarbeitung eines umfassenden, prozessübergreifenden Verständnisses von Eigenschafts-Struktur-Beziehungen zwischen Materialien, Fertigungsschritten und elektrochemischen Kenndaten. Es werden komplementäre Methoden und Kompetenzen zur Analyse und Qualitätssicherung gebündelt, weiterentwickelt und evaluiert, um ein tiefergehendes Verständnis des Materialverhaltens zu erhalten und komplexe Zusammenhänge zwischen Material-, Prozess- und Zellebene aufzuklären. Als Ausgangspunkt dient die Charakterisierung der Materialien und Batterien mittels bestehender und neu zu entwickelnder, maßgeschneiderter Analyseverfahren.

Gesamtziel ist die Erarbeitung einer lückenlosen Matrix von Qualitätssicherungsmaßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von den Ausgangsmaterialien über die Elektroden- und Zellfertigung bis hin zur Gesamtzelle. Dabei steht die gemeinschaftliche Etablierung von Methoden, Strategien und Standards im Mittelpunkt. Dies ermöglicht einerseits einen schnellen Transfer der Forschungsergebnisse in kommerzielle Zellen und andererseits eine Kostenreduktion durch Prozessoptimierung in der Fertigung bei garantierten Leistungsdaten.

Themenoffene Förderinitiativen

Neben dem beschriebenen missionsorientierten Teil des Dachkonzepts Forschungsfabrik Batterie gibt es weitere themenoffene Förderinitiativen des BMBF. Sie ermöglichen es, vielfältige Ansätze zu unterschiedlichen Batterietechnologien in unterschiedlichen Innovationsstadien aufzugreifen. Durch einzelne Forschungsprojekte aus den jeweiligen Kompetenzfeldern der Akteure der deutschen Batterieforschung wird die Innovationspipeline gewinnbringend zu den missionsorientierten Projekten komplementiert. Die Maßnahmen bilden unter Einbeziehung der Industrie den Ideen- und Innovationspool im Sinne eines Bottom-Up Ansatzes.

Nachwuchsgruppen

Um im globalen Wettbewerb bestehen zu können, ist die Aus- und Weiterbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Bereich der Batterieforschung notwendig. Mit der Etablierung von Nachwuchsgruppen und der Fördermaßnahme BattFutur ermutigt das BMBF promovierte Ingenieur- und Naturwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, die eine eigene Nachwuchsgruppe aufbauen wollen, sich für eine akademische Laufbahn sowie Leitungsaufgaben in Wirtschaft und Forschung weiter zu qualifizieren. Junge Forscherinnen und Forscher sollen ihr an der Hochschule erworbenes Wissen frühzeitig anwendungsorientiert weiterentwickeln, mit der Industrie gemeinsam Anwendungen vorbereiten und das Anwendungspotenzial eruieren. So werden Impulse für die Zukunft gesetzt.

Batterie 2020

In den Forschungs- und Entwicklungsprojekten der erstmals 2014 veröffentlichten Maßnahme Batterie

2020 werden Materialien und Prozesse für Sekundärbatterien erforscht. Neben Anwendungen in der Elektromobilität (Landfahrzeuge, Lufttransport, Schifffahrt), stationären Speichern, weiteren industrierelevanten Anwendungen (wie beispielsweise Hochleistungswerkzeuge) ist der Einsatz der Batterien in mobilen Arbeitsgeräten (Landmaschinen, Gabelstapler, Flurförderzeuge etc.) sowie in Arbeitsgeräten für Haushalt und Garten oder der Medizintechnik Ziel der Entwicklungen.

Dabei kommt der engen Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen eine besondere Bedeutung zu. Der Fokus liegt auf Lithium-Ionen-Systemen und alternativen Batteriesystemen (Metall-Ionen-, Metall-Luft/Sauerstoff-, Metall-Schwefel- und andere zukunftsweisende Systeme).

Inhaltlich beschäftigen sich die Verbundprojekte unter anderem mit der Entwicklung neuer Materialien und Materialkombinationen. Neue oder verbesserte Materialeigenschaften werden angestrebt und ihr Einfluss auf andere Komponenten der Batterie oder das bestehende Zelldesign untersucht. Auch werden die Materialverarbeitung und die Prozesstechnologie optimiert, um Zellen schneller, kostengünstiger, noch umweltfreundlicher und mit noch höherer Qualität zu produzieren. Ergänzt werden die Arbeiten um Simulationen und Modelle, die dabei helfen, Vorhersagen zu den Auswirkungen veränderter Prozessparameter auf die Qualität einer Batteriezelle treffen zu können. Einige Verbundprojekte beschäftigen sich auch mit der Frage, warum es zu Leistungseinbußen kommt. Weiterhin werden die Potenziale zukünftiger Batteriesysteme betrachtet und industriell zugänglich gemacht. Alle vorgesehenen Material- oder Prozessentwicklungen erfolgen im Systemzusammenhang und sollen zu deutlichen, quantifizierbaren Verbesserungen der Batterieeigenschaften führen.

Da es entscheidend für die Zukunft des Wirtschafts- und High-Tech-Standorts Deutschland ist, übergeordnete Problemstellungen für elektromobile, stationäre und weitere industrierelevante Anwendungen zu identifizieren und diese schnell anzugehen, werden projektübergreifend im Rahmen der Maßnahme Batterie 2020 auch bestehende und alternative Batteriesysteme untereinander verglichen. So werden zuverlässige Aus- und Vorhersagen möglich, ob und wann die betrachteten Batteriesysteme ggf. miteinander auf dem

Markt konkurrieren können. Internationale Trends der Forschung, Marktentwicklungen sowie Forschungs- und Förderaktivitäten fließen ebenfalls in die Betrachtungen mit ein.

Bisher gab es drei Förderphasen zur Bekanntmachung Batterie 2020. Darauf aufbauend wurde die Förderrichtlinie Batterie 2020 Transfer initiiert. Schwerpunkt der Richtlinie liegt auf den Wertschöpfungsstufen des Produkt- und Prozessdesigns, der Synthese der Materialien sowie den Fertigungsprozessen für Batteriezellen. Übergeordnet werden Ressourceneffizienz und -schonung sowie Werterhaltung und eine verlängerte Nutzungsphase der Sekundärbatterien angestrebt.

Die Vorhaben müssen auf industrielle Forschung und experimentelle Entwicklung mit Blick auf die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) ausgerichtet sein und einen entscheidenden Beitrag für nachhaltige Batterieanwendungen leisten. Beispielhaft werden Projektideen gefördert, die ein innovatives Batteriedesign auf den verschiedenen Ebenen einer Batterie realisieren, etwa auf Material-, Zellkomponenten- oder Zellebene. Auch werden Ansätze zur Rohstoffeinsparung und Substitution berücksichtigt, um den Rohstoffeinsatz in Zukunft noch effizienter zu gestalten. Das umfasst auch bestehende Konzepte hinsichtlich nachfolgender Recyclingverfahren oder dem Wiedereinsatz von Batterien zu überdenken. Angestrebt dabei werden Batteriezellen aus Primär- als auch aus Sekundärrohstoffen, die im Vergleich zum Stand der Technik zu deutlichen, quantifizierbaren Verbesserungen der Eigenschaften wie Energie- und Leistungsdichte, Schnellladefähigkeit, Lebensdauer, Sicherheit und Alterung führen. Gefördert wird ebenfalls die Entwicklung von Prozessen und die notwendigen Produktionsmittel, die mit diesen Ideen im Zusammenhang stehen.

Die Fördermaßnahme Batterie 2020 Transfer stellt die industrielle Umsetzbarkeit in den Mittelpunkt aller Projekte – unabhängig von dem Innovationsstadium. Die Projekte reichen von der Entwicklung und Skalierung vielversprechender Materialien für zukünftige Batteriesysteme bis hin zur Erprobung von Batterietechnologien auf Pilotlinien. Das BMBF gibt Forschungseinrichtungen und Unternehmen die Chance, Forschungs- und Entwicklungsergebnisse möglichst schnell in die nächste Wertschöpfungsstufe weiterzugeben und zur Markteinführung zu bringen.

Weitere Informationen

Informationen zum Dachkonzept Forschungsfabrik Batterie des BMBF gibt es hier:

bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/batterieforschung/batterieforschung-in-deutschland.html



Eingeladen aufzuladen – Highlights aus den geförderten Projekten

Die Förderinitiative Batterie 2020 setzt Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte bei den Themen:

Material- und Prozesstechnik für LIB

Für die Optimierung von Lithium-Ionen-Batterien (LIB) setzt das BMBF auf Weiterentwicklungen solcher Systeme mit Blick auf Material-, Prozess- und Fertigungsebene. Beispielhaft werden die Projekte EffiForm und HiPoLiT vorgestellt.

Hochenergie- und -leistungsbatterien

Ein wichtiger Trend liegt derzeit in der Erforschung und Entwicklung von wiederaufladbaren Batteriesystemen, die deutlich höhere Energie- und Leistungsdichten aufweisen als gängige Lithium-Ionen-Batterien. Im Folgenden wird repräsentativ das Projekt SiGgl vorgestellt.

Zukünftige Batteriesysteme

In der Theorie versprechen alternative Batteriesysteme vor allem niedrige Kosten und hohe Energiedichten. Sollten sie sich realisieren lassen, könnten sie mit Lithium-Ionen-Batterien in mobilen und stationären Anwendungen konkurrieren. Das Projekt StickLiS zeigt exemplarisch die Potenziale.

Second Use und Recycling

Endet der Einsatz einer Batterie in einer Anwendung, lässt sie sich möglicherweise noch in einer anderen weternutzen. Danach muss sie fachgerecht entsorgt werden. Beides trägt erheblich zu einer positiven Ökobilanz bei.

Übergreifende Studien und Vernetzung

In diesem Schwerpunkt fördert das BMBF breit angelegte, themen- und batteriesystemübergreifende Studien und Marktanalysen sowie ein Projekt zur Vernetzung der Teilnehmer von Batterie 2020.

Eine Auswahl von Projekten aus den Schwerpunkten Material- und Prozesstechnik für LIB, Hochenergie- und Hochleistungsbatterien sowie zukünftiger Batteriesysteme werden im Folgenden im Detail vorgestellt.

Details zu den Forschungsfeldern und Projekten

Die Projekte der Förderinitiative Batteriematerialien für zukünftige elektromobile, stationäre und weitere industrierelevante Anwendungen (Batterie 2020) beschäftigen sich mit Metall-Ionen-Batterien, zu denen die Lithium-Ionen-Systeme zählen, sowie mit Metall-Schwefel- und Metall-Luft- bzw. Metall-Sauerstoff-Systemen. In Abgrenzung zu anderen Förderinitiativen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) werden keine Vorhaben zu Redox-Flow-Batterien oder Doppelschichtkondensatoren gefördert.

batterie-2020.de/projekte/forschungsfelder/



Prozesstechnologie

EffiForm: Effizientere Formierung

Motivation des Projekts

Der erste Ladevorgang einer Lithium-Ionen-Batterie führt zu einem irreversiblen Verlust von Lithium und damit einhergehend zu einem irreversiblen Verlust an Kapazität. Ursache hierfür ist die Bildung einer Passivierungsschicht durch die Reaktion des Elektrolyten an der Oberfläche des Graphit-Aktivmaterials (auf der Anodenseite als sogenannte Solid Electrolyte Interphase (SEI) bezeichnet). Die Bildung der Passivierungsschicht, auch als Formierung bezeichnet, gilt es zu verstehen und diese mit den verfügbaren Parametern und Materialien zu verändern und zu optimieren. Der Formierungsprozess ist aufgrund der Dauer, der benötigten Maschinenzeit und Energie besonders relevant für die Kosten einer Zelle.

Inhalt/Gegenstand/Ziel

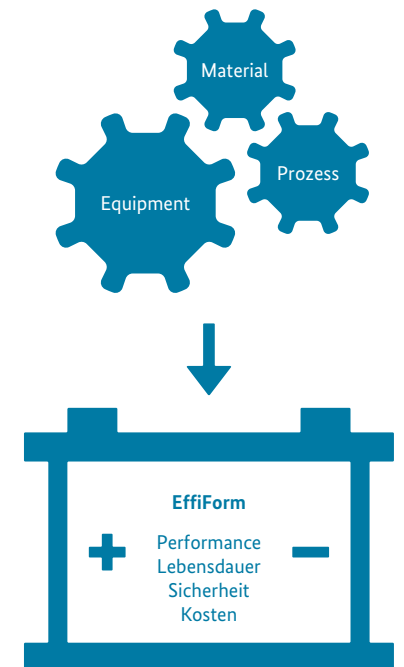
Genau hier setzte das Vorhaben EffiForm an: Ziel des Projekts war es, auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen zur Formierung, insbesondere zur Ausbildung der Grenzschichten an den Aktivmaterialien, ein tieferes Verständnis der elektrochemischen Vorgänge und Prozesse zu entwickeln. Es sollten Maßnahmen zur Reduktion der Prozesszeit und der Infrastruktur abgeleitet werden, um die Kosten der Zellproduktion signifikant zu senken. Dies sollte zum einen durch die Beschleunigung der Formierung selbst, aber auch durch eine intelligente Prüfmethode zur Charakterisierung und Freigabe der Zelle erreicht werden. Ein weiteres Ziel war es, entsprechende Formierungsparameter zu identifizieren, um die Lebensdauer und Sicherheit der Batteriezellen wesentlich zu verbessern. Eingesetzt wurden zunächst aktuell verwendete Zellmaterialien (zum Beispiel synthetischer Graphit). Später wurde untersucht, inwieweit sich die Ergebnisse auf zukünftige Batteriematerialien übertragen lassen (zum Beispiel Si/C-Komposite).

Ergebnisse/Highlights

Es wurden umfangreiche und systematische Versuchsreihen bzgl. der Formierung durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit drei verschiedenen Zelltypen, den Consumer Zellen von VARTA (CoinPower Knopfzellen), den 5-Ah Pouchzellen (MEET) sowie den automotive PHEV-1 Zellen (BMW Zell-Musterbau) validiert. Eine Formierung konnte innerhalb von zweieinhalb Stunden erfolgreich durchgeführt werden, ohne dass die Performance und Lebensdauer der Zelle beeinträchtigt wurde. Um eine schnellere Detektion der Selbstentladung von Lithium-Ionen-Batteriezellen zu ermöglichen wurden neue Simulationsmodelle entwickelt, die den Ladungsausgleich in den Elektroden abbilden. Durch eine signifikant kürzere Formierung und Detektion der Selbstentladung lassen sich künftig Batteriezellen kostengünstiger fertigen.

Projektpartner (FKZ: 03XP0034A-H)

VARTA Microbattery GmbH (Koordinator) | Bayerische Motoren Werke AG | Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS | ScienLab electronic systems GmbH | Technische Universität München | thyssenkrupp System Engineering GmbH | Westfälische Wilhelms-Universität Münster, MEET Batterieforschungszentrum



Effiziente Formierungsstrategien zur Erhöhung der Lebensdauer, Zuverlässigkeit und Sicherheit von Lithium-Ionen-Zellen bzw. Batterien.

Anwendung

HiPoLiT: Schnellladefähige Batterien

Motivation des Projekts

Zur besseren Nutzbarkeit elektr mobiler Batterien wird verstärkt auch an einer schnelleren Wiederaufladung geforscht. Die übergeordnete Zielsetzung des Projekts besteht insofern darin, Batterien zu entwickeln, die eine gefahrlose Schnellladefähigkeit zulassen, damit nach kurzer Zeit (Minuten) wieder eine hohe Ladekapazität zur Verfügung steht. Im Projekt HiPoLiT wurden daher innovative Lithium-Ionen-Batterien entwickelt, die sich durch eine außerordentlich hohe Schnellladefähigkeit auszeichnen. Dabei sollte sich die Energiedichte und Lebensdauer nicht nennenswert verschlechtern und eine herausragende Sicherheit gewährleistet bleiben.

Inhalt/Gegenstand/Ziel

Der inhaltliche Arbeitsschwerpunkt lag in der Erforschung von innovativen Batteriekomponenten und deren neuer Kombination. Erforscht wurden die Komponenten bei Johnson Matthey Battery Materials GmbH (Kathodenmaterial und Anodenmaterial), im MEET Batterieforschungszentrum der WWU Münster (Elektrolyt) und bei Freudenberg Performance Materials SE und Co. KG (Separator). Zusammengeführt wurden die Zellkomponenten am Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT. Ziel war es, die Hochladefähigkeit bei gleichzeitig hoher Spannung zu erhöhen und den Anteil an Aktivmaterial zu steigern. Des Weiteren wurden Potenziale für geringere Herstellungskosten erarbeitet: Dazu verringerte die Liacon GmbH die Anzahl verschalteter Zellen und der Hochvoltkathoden, setzte größere Zellformate ein und schaffte so die Basis für eine wettbewerbsfähige Kostenbetrachtung. Ergänzt wurde diese Zellentwicklung durch ein im BMZ Batterie-Montage-Zentrum GmbH entwickeltes Batteriemanagementsystem – nach den praxisnahen, beispielhaften Vorgaben für die Anwendung in Elektrobootsantrieben bei Torqeedo GmbH.

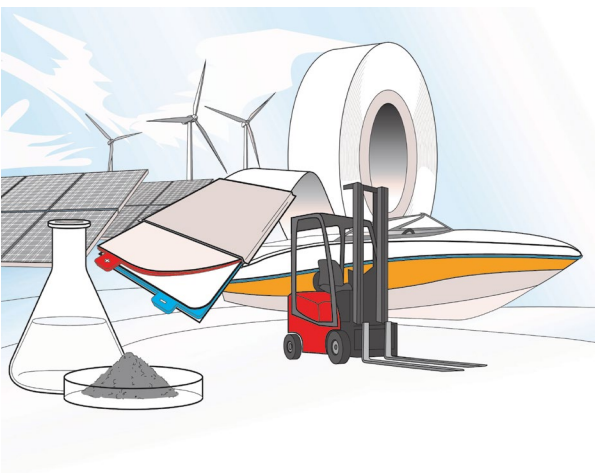
Ergebnisse/Highlights

Die erzielten Ergebnisse betreffen sowohl die Produktion als auch die Verwertung: Hervorzuheben sind die Entwicklung eines neuartigen Separators bei Freudenberg Performance Materials, der eine große

Toleranz gegen hohe Temperaturen mit mechanischer Stabilität verbindet. Dieser Separator wurde in weiteren Forschungsprojekten als Standardmaterial ausgewählt und eingesetzt. Darüber hinaus gelang erstmals die Produktion einer Serie von Pouchzellen mit einem neuartigen Kathodenmaterial (sog. Hochvoltspinnell), das eine höhere Energiespeicherfähigkeit besitzt. Als Anodenmaterial wurde das sehr sichere und langzeitstabile Lithiumtitanat verwendet. Beide Materialien wurden von der Firma Johnson Matthey hergestellt, die Batteriezellen selbst von der Firma Liacon gebaut. Ein weiteres wissenschaftliches Highlight war die Erforschung vielversprechender Elektrolytadditive, die zur Stabilisierung und damit zur Steigerung der Lebensdauer von solchen Zellen eingesetzt werden können – Forschungstätigkeiten, die am MEET stattfanden. Ein weiteres herausragendes Ergebnis im Projekt HiPoLiT, welches durch die erforschten Materialkombinationen am Fraunhofer ISIT ermöglicht wurde, war der Nachweis einer extrem hohen Ladebelastbarkeit. Durch diese Ergebnisse werden künftige Batterien für Anwendungen greifbar, welche sich nur in wenigen Minuten aufladen lassen und zugleich langlebiger sind.

Projektpartner (FKZ: 03XP0038A-G)

Freudenberg Performance Materials SE & Co. KG (Koordinator) | BMZ Batterien-Montage-Zentrum GmbH | Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT | Johnson Matthey Battery Materials GmbH | Liacon GmbH | Torqeedo GmbH | Westfälische Wilhelms-Universität Münster, MEET Batterieforschungszentrum



Innovative Ansätze der Batteriekomponentenforschung des HiPoLiT Projekts für hochdynamische Anwendungsgebiete. Quelle: C. Weber, Freudenberg Performance Materials; Illustrator A. Heck, Betactive

Hochenergie-LIB

SiGgI: Silicon Graphite goes Industry

Motivation des Projekts

Die Steigerung der Energie- und Leistungsdichte von Lithium-Ionen-Batterien ist ein Schlüssel für mehr Akzeptanz der Elektromobilität. Der Einsatz von hochkapazitivem Silizium als Beimischung zum Graphit als Anodenmaterial stellt dabei eine vielversprechende Technologie dar. Mit ihr ist jedoch eine starke Volumenänderung des Siliziums bei der Aufnahme der Lithium-Ionen verbunden, was die Lebenszeit der Batterien deutlich verkürzt. Es existieren bereits vielversprechende Labor-Ansätze, um diese Volumenänderung mittels der Nutzung von Silizium-Kohlenstoff-Verbundmaterialien zu kompensieren. Dabei dient der Kohlenstoff als Abstandhalter und elektrischer Leiter zwischen den Siliziumpartikeln. Somit lässt sich die hohe Kapazität des Siliziums nutzen und gleichzeitig eine erheblich verbesserte Zyklenstabilität erzielen. Um neu entwickelte Materialien schnell und mit hoher Reproduzierbarkeit charakterisieren und vergleichen zu können, sollte die Analyse möglichst automatisiert erfolgen. Auf dieser Basis sollte die bislang nur punktuell durchgeführte Skalierung der Technologie weiterentwickelt werden.

Inhalt/Gegenstand/Ziel

Das Projekt SiGgI adressiert diese Technologie und hat zum Ziel, die Schnittstelle zwischen Labor und industrieller Umsetzung über Skalierungsarbeiten abzubilden.

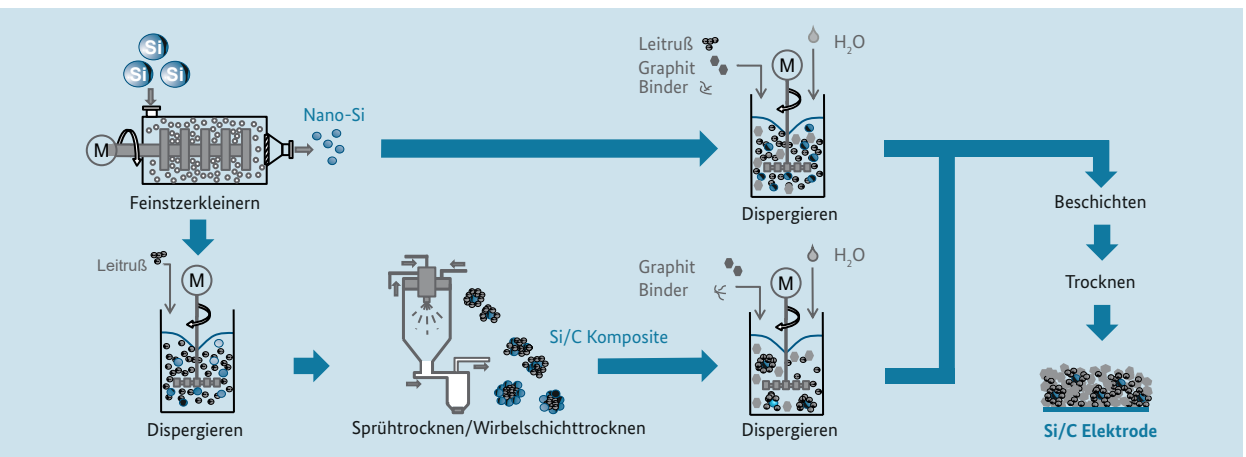
Dafür ist neben der Material- und Prozessentwicklung von Silizium-Graphit-Verbundmaterialien und -elektroden eine hoch-reproduzierbare Testzellencharakterisierung für die Bewertung der umfangreichen Material- und Prozessstudien zu entwickeln. Dieses Ziel wurde im Projekt durch eine automatisierte Testzellenfertigung umgesetzt, welche mit entsprechenden Messgrößenaufnahmen zur kontinuierlichen Prozessüberwachung und einer Testzellzyklisierung kombiniert wurde.

Ergebnisse/Highlights

Silizium ist bereits seit längerem als ein vielversprechendes Anodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien bekannt, daher rückte in den letzten Jahren immer stärker die prozesstechnische Verarbeitung in den Fokus. Genau hierauf lag der Schwerpunkt im Projekt SiGgI, in dem eine skalierbare Prozesskette für siliziumhaltige Anoden etabliert werden konnte. Die Prozesse umfassen mit der Materialherstellung (Nano-Zerkleinerung, Kompositherstellung), der Elektrodenherstellung (Dispergierung, Beschichtung, Trocknung, Kalandrierung) und der Zellfertigung (Pouchzellen und automatisierte Testzellenfertigung) alle wesentlichen Arbeitsschritte der Batterieproduktion. Mittels einer gezielten Material- und Prozessoptimierung konnten sowohl die Zellperformance als auch der Durchsatz der Prozesse gesteigert werden. Die Ergebnisse des Projekts können damit als Basis für eine weitere Skalierung und Produktionsforschung an Siliziumanoden dienen.

Projektpartner (FKZ: 03XP0035A-F)

Volkswagen AG (Koordinator) | Custom Cells Itzehoe GmbH | EL-CELL GmbH | M. Braun Inertgas Systeme GmbH | SiLi Technologies GmbH | Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig



Prozessschritte im Projekt SiGgI. Quelle: Technische Universität Braunschweig

Zukünftige Batteriesysteme

StickLiS: Polysulfid-Anker

Motivation des Projekts

Lithium-Schwefel-Batterien zeichnen sich im Vergleich zu herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien durch eine hohe (auf die Masse bezogene) Energiedichte und geringe Materialkosten aus. Sie weisen jedoch bisher nur eine geringe Lebensdauer auf. Die Hauptursache für den Abfall der Energiedichte ist auf der Kathodenseite zu finden. Meist besteht sie aus einem leitfähigen Kohlenstoffgerüst, das mit elementarem Schwefel gefüllt ist. Während des Entladevorgangs bilden sich lösliche Nebenprodukte (sogenannte Polysulfide), die aus dem leitfähigen Kohlenstoffgerüst unerwünscht zur Anodenseite transportiert werden. An der Lithiumanode führen sie dann dazu, dass sich die Zelle selbst entlädt. Zudem gehen sie unerwünschte Nebenreaktionen mit weiteren Zellkomponenten ein. Die Folge: Der Elektrolyt zersetzt sich und auf der metallischen Lithiumanode wachsen sogenannte Dendriten. Das sind baumartige Gebilde, die sich durch den Separator bohren und Kurzschlüsse auslösen können.

Inhalt/Gegenstand/Ziel

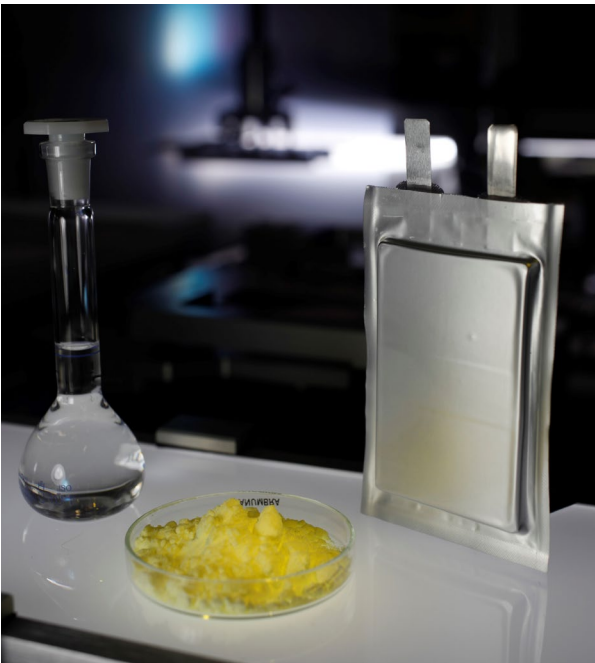
Ziel des Verbundprojekts StickLiS war es deshalb zu verhindern, dass die Polysulfide zur Anode gelangen bzw. diesen Effekt deutlich zu minimieren. Anstelle von reinen Kohlenstoffmaterialien sollten solche Kohlenstoffe an der Kathode eingesetzt werden, die mit geringen Mengen Stickstoff versetzt (dotiert) sind. Diese sollten die Polysulfide so lange festhalten, bis sie komplett abgebaut sind. Erste Arbeiten waren erfolgreich. Durch den Vergleich von drei Materialklassen war es möglich, grundlegende Aussagen über die elektrochemisch stattfindenden Mechanismen zu treffen. Damit wurden unerwünschte Nebenreaktionen reduziert, die bisher den kommerziellen Erfolg der Lithium-Schwefel-Batterie verhindern. Auch wurden die Kenntnisse zu den Struktur-Eigenschafts-Beziehungen genutzt, um die Elektrolytmenge zu minimieren und die Energiedichte zu steigern.

Ergebnisse/Highlights

Im Rahmen des Projekts StickLiS wurden verschiedene stickstoffdotierte Kohlenstoffmaterialien hergestellt und für den Einsatz in Lithium-Schwefel-Batteriezellen evaluiert. Durch die Dotierung mit dem Element Stickstoff kann zum einen die Leitfähigkeit der Kohlenstoffe erhöht und zum anderen die Wechselwirkung mit den Schwefelverbindungen verbessert werden. Dieses Materialkonzept konnte erfolgreich umgesetzt und in anwendungsnahen Prototypzellen bewertet werden. Dabei wurde eine Verdopplung der Zyklenlebensdauer durch die stickstoffdotierten Materialien erreicht. Das Projekt StickLiS liefert mit diesem innovativen Kathodenmaterial einen wesentlichen Baustein für die zukünftige Auslegung langlebiger und nachhaltiger Lithium-Schwefel-Batterien. Durch das geringe Zellgewicht werden neue Anwendungen (z. B. elektrische Antriebe in der Luftfahrt) möglich und Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette (Material- und Zellhersteller sowie Anwender) können perspektivisch von diesen grundlegenden Entwicklungen profitieren.

Projektpartner (FKZ: 03XP0030A-C)

Technische Universität Dresden (Koordinator) | Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS | Max-Planck-Institut für Festkörperforschung



Lithium-Schwefel-Prototypzelle mit Schwefel als Aktivmaterial.
Quelle: Fraunhofer IWS

Zellfertigung

Giga-LIB: Industriekonsortium zur Entwicklung der industriellen Produktion von LIB-Zellen

Motivation des Projekts

Eine Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion in Deutschland würde technologische Souveränität steigern und die Abhängigkeit der EU von Asien und den USA verringern. Die Giga-LIB Studie entwickelte ein schnell, flexibel und effizient umsetzbares Produktions- und Fabrikkonzept für Deutschland. Die Studie hatte zum Ziel, den Austausch unter LIB-Zellproduzenten über die aktuellen Produktionstechniken zu erweitern und zu belegen, dass eine ressourceneffiziente Batteriefabrik in Deutschland kostendeckend realisierbar ist.

Inhalt/Gegenstand/Ziel

Mit dem Giga-LIB-Fabrikmodell waren folgende vier Schwerpunkte verbunden:

- Flexible, für mehrere Baugrößen und Zellformate ausgelegte Prozesse für eine Massenfertigung in Deutschland – nach höchsten globalen Qualitätsstandards
- Ressourcen- und umweltschonende Hochgeschwindigkeits-Produktionsprozesse für eine Massenfertigung zu wettbewerbsfähigen Kosten
- Innovative Produktionssteuerung gemäß Lean Production- und Industrie 4.0-Prinzipien

- Produktionsnahe Erforschung der Zelleigenschaften mit Fokus auf Formfaktor, Kontaktierung und Kühlung zur Integration in den verfügbaren Bauraum des Elektrofahrzeugs

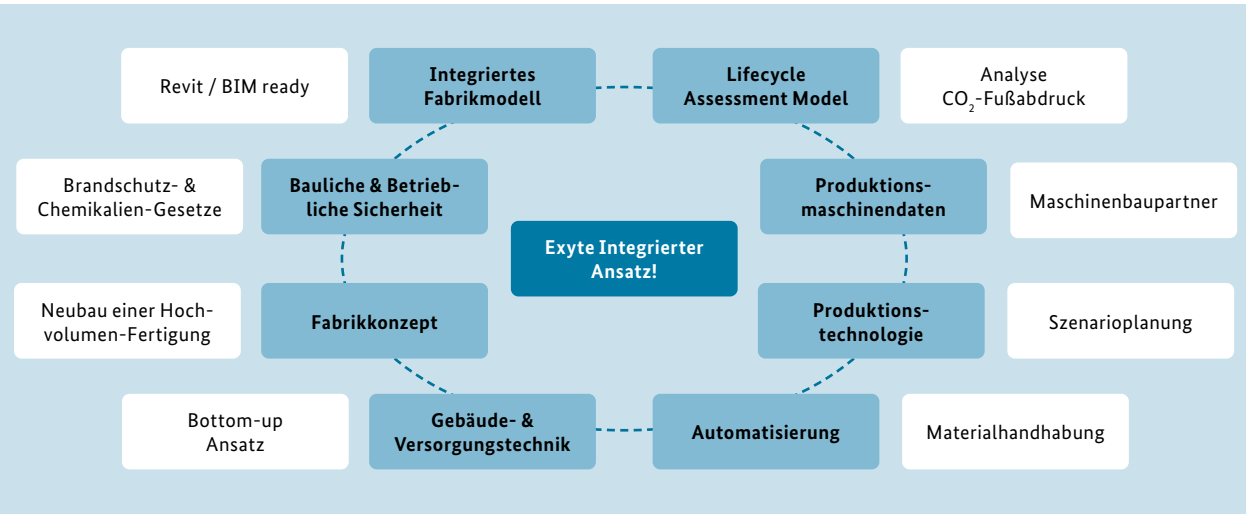
Für Exyte stand dabei die Umsetzung und Hochskalierung dieser Produktionstechnologie in einem modernen Hochvolumen-Fabrikmodell im Vordergrund.

Ergebnisse/Highlights

Exyte entwickelt und baut schlüsselfertige Hightech-Fabriken, maßgeschneidert basierend auf dem jeweiligen Kernprozess der Produktionsanlagen. Wie es sich gezeigt hat, kam das Giga-LIB Projekt genau zum richtigen Zeitpunkt, um auf die erfreulicherweise stark zunehmende Ansiedlung namhafter, großer Lithium-Ionen-Batteriehersteller in Deutschland vorbereitet zu sein. Das Giga-LIB-Modell bildete eine sehr gute Ausgangsbasis, um diesen ganzheitlichen Projektansatz auf die Planung und den Bau von zukünftigen Lithium-Ionen-Zellfabriken in Deutschland und weltweit zu übertragen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden dazu beitragen reale Projekte flexibler, schneller und mit ressourceneffizienter Technik umzusetzen.

Projektpartner (FKZ: 03XP0024A-F)

VARTA Microbattery GmbH (Koordinator) | Exyte Management GmbH | Manz AG | thyssenkrupp System Engineering GmbH | Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg



Batterieforschung verbindet – europäische und internationale Kooperationen

Neben den nationalen Aktivitäten zur Etablierung einer deutschen Batteriezellproduktion setzt Deutschland ebenso auch auf europäische und internationale Kooperationen im Bereich der elektrochemischen Energiespeicherung. Dazu zählen neben EU-Staaten auch Japan, Taiwan, Israel und die USA. Insbesondere werden Forschungs- und Entwicklungsprojekte initiiert, die nur durch eine internationale Zusammenarbeit zum Erfolg führen und einen schnellen Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die industrielle Anwendung unterstützen. Vorrangig werden daher angewandte Forschungsthemen verfolgt, die einen erheblichen Mehrwert durch die internationale Kooperation versprechen. Durch diese Maßnahmen soll es gelingen, vorhandene Wissenslücken in Bezug auf grundlegende Fragestellungen zu Entwicklung, Herstellung, Handhabung und Analytik, die im Zusammenhang mit Batteriematerialien stehen, zu schließen.

Deutschland – Europa

Das europäische „ERA-NET on research on materials science and engineering including international cooperation“ (M-era.Net) startete Anfang 2012 als Projekt im siebten EU-Forschungsrahmenprogramm (FP7). Inhaltlich wird eine breite Themenvielfalt von grundlagenorientierten Materialwissenschaften über Forschung und Entwicklung innovativer Werkstoffkonzepte bis zu den Herstellungsprozessen abgedeckt. Im Rahmen des M-era.Net 2019 gab es den Themenschwerpunkt Batteriematerialien, insbesondere zu innovativen Oberflächen, Beschichtungen und Grenzflächen sowie funktionellen Materialien. Aufgrund des Erfolgs sollen die Förderaktivitäten zum Thema Batteriematerialien verlängert und um andere Maßnahmen ergänzt werden.

Mit der europäischen Batterieallianz (EBA) möchte die Bundesregierung auf europäischer Ebene eine wettbewerbsfähige Wertschöpfungskette für nachhaltige Batteriezellen aufbauen. Die technologische Abhängigkeit von ausländischen Mitbewerbern soll hierdurch vermieden werden. EBA bringt die EU-Kommission, interessierte EU-Mitgliedsländer, die europäische Investitionsbank (EIB) sowie entscheidende industrielle Stakeholder und Innovationstreiber zusammen. Mit dem strategischen Aktionsplan für Batterien wurden konkrete Maßnahmen formuliert, um ein innovatives, nachhaltiges und wettbewerbsfähiges „Batterie-Ökosystem“ in Europa zu etablieren. Beispielsweise ist die Unterstützung des Aufbaus einer europäischen Batteriezellfertigung Teil dieses Aktionsplans.

Im Februar 2019 wurde der Start der European Technology and Innovation Platform (ETIP) on Batteries „Batteries Europe“ angekündigt. Batteries Europe soll Forschungs- und Innovationsagenden sowie Roadmaps entwickeln und aktualisieren. Das soll die Entwicklung

von Batterieprojekten sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene fördern. Darüber hinaus wird die Plattform die Fachcommunity beim Informations- und Erfahrungsaustausch und dem Zugang zu Finanzmitteln unterstützen. Sie wird damit für die Stakeholder als Art „single entry point“ fungieren. Bis zum Jahre 2023 soll das Ein-Millionen-Euro-Projekt die Bemühungen öffentlicher und privater Partner und anderer Akteure der Batterieforschung erleichtern. Dies soll durch Veranstaltungen, thematische Treffen und Netzwerkmöglichkeiten erreicht werden. Die Plattform soll von InnoEnergy zusammen mit der European Energy Research Alliance (EERA) und der European Association for Storage of Energy (EASE) koordiniert werden.

Aktuell arbeitet auch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit der deutschen und europäischen Industrie an zwei Großprojekten zur Batteriezellinnovation. Im Rahmen eines sogenannten »Important Projects of Common European Interest« (IPCEI) werden europäische Unternehmenskonsortien mit dem Ziel einer Batteriezellfertigung gefördert. Ein erstes Projektkonsortium besteht unter anderem aus den Firmen Opel, Saft, BMW, VARTA und BASF. Das zweite Batterie-Großprojekt „European Battery Innovation“ wurde im Januar 2021 von der EU genehmigt. Es wurde gemeinsam von Österreich, Belgien, Kroatien, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Italien, Polen, der Slowakei, Spanien und Schweden vorbereitet und angemeldet. An dem Projekt werden 42 Unternehmen beteiligt sein, darunter Tesla, BMW, FCA, Northvolt, ElringKlinger, Manz, und viele mehr.

Weitere regulatorische Aktivitäten sind die Ökodesign-Vorstudie oder die Überarbeitung der Batterie-Richtlinie (EU Directive 2006 / 66 / EC). Beides zielt durch eine effizientere Gestaltung und Nutzung sowie das Recycling



von Batterien auf eine Verringerung der Rohstoffabhängigkeit und von Lieferengpässen ab. Ziel ist es, dass die in Deutschland und Europa aufgebaute Wertschöpfungskette ausgehend von Forschung und Innovation die Industrialisierung von Batterietechnologien vorantreibt und höchste Ansprüche an Nachhaltigkeit erfüllt.

Deutschland – Israel

Seit dem Jahr 2014 unterstützen das BMBF und das israelische Ministerium für Wissenschaft, Technologie und Raumfahrt (MOST) eine gemeinsame deutsch-israelische „Batterieschule“ (GIBS). Im Fokus steht die Qualifizierung von Nachwuchsforscherinnen und -forschern durch einen intensiven wissenschaftlichen Austausch und Forschungsaufenthalte bei dem jeweiligen Partner. Thematisch geht es um die Erforschung von neuen Materialien und Konzepten für Hochleistungsbatteriesysteme, Superkondensatoren und Komponenten für Brennstoffzellen. Wissenschaftlich interessant ist die Zusammenarbeit insbesondere im Bereich der Metall-Luft-Batterie.

Deutschland – Japan

Deutschland und Japan arbeiten seit 2017 gemeinsam an der Materialforschung für Batterietechnologien der nächsten Generation. Dabei wird insbesondere an zukunftsweisenden Konzepten für Festkörper- oder Metall-Luft-Batterien und an Materialien für die nächste Generation von Lithium-Ionen-Batterien geforscht. Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen beider Länder erarbeiten sich so gemeinsam einen Wissensvorsprung. Die Projekte konzentrieren sich dabei auf die Untersuchung der Wechselwirkungen von Elektroden- und Elektrolytmaterialien sowie auf erweiterte Analytik zur Aufklärung der Vorgänge zukünftiger Batteriezellen.

Deutschland – Taiwan

Seit 2017 kooperiert Deutschland mit Taiwan im Bereich Energiespeicherung. Der Austausch wird seitdem stetig intensiviert. Im Rahmen dieser Fördermaßnahme forschen Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen beider Länder gemeinsam zu Batteriespeichern, die insbesondere Elektroden, Elektrolyte, Zellaufbau, Stabilität und Sicherheit betreffen. Im Fokus stehen neben dem intensivem wissenschaftlichen Austausch Forschungsaufenthalte bei dem jeweiligen Partner. Die Projekte adressieren relevante Fragestellungen zu neuen Elektroden für Hochenergie- und Hochleistungs-Lithium-Ionen-Batterien, Elektrolyten für Hochenergie- und Hochleistungs-Lithium-Ionen-Batterien, Elektroden- und Elektrolytmaterialien mit erhöhter Stabilität, Lithium-Ionen-Batterien mit erhöhter Sicherheit sowie zu neuen Elektrochemien und dem Zellaufbau für Post-Lithium-Ionen-Systeme.

Deutschland – USA

Der Austausch zwischen Deutschland und den USA im Bereich der Batterieforschung besteht seit 2019. Die thematischen Schwerpunkte der bilateralen Kooperation liegen bei der Verbesserung von Leistung und Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien sowohl mit flüssigen als auch mit festen Elektrolyten. Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen beider Länder arbeiten gemeinsam an Forschungsfragen zu Mechanismen an den Grenzflächen zwischen Elektroden und Elektrolyt, Mechanismen an den Grenzflächen innerhalb von Elektroden und Elektrolyt, der Entwicklung von *in situ*-/operando-Messtechnik sowie zu Modellierungswerkzeugen auf unterschiedlichen Zeit- und Längenskalen.

3. Plus und Minus – Fazit und Ausblick

Mit dem Dachkonzept Forschungsfabrik Batterie wurden beste Voraussetzungen geschaffen, die gesetzten Ziele zu erreichen: die Unterstützung der Batterieforschung, der Aufbau einer wettbewerbsfähigen großskaligen Batteriezellproduktion in Deutschland und ein schnellerer Transfer von Forschungsergebnissen in die Anwendung.

Jetzt soll überprüft werden, welche Rahmenbedingungen für die Zukunft wichtig sind, insbesondere das kommende Jahrzehnt, für welches die Batterietechnologie eine Schlüsseltechnologie darstellt. Der Prozess für ein Facelift wurde bereits angestoßen.

Im Austausch mit dem Beirat Batterieforschung Deutschland, mit Wissenschaftlern und Industrievertretern, soll der Blick für die nächsten zehn Jahre geschärft werden. Es wird hinterfragt, welche Technologien sich entwickeln werden und welche Technologien die Chance auf eine industrielle Umsetzung haben.

Das BMBF wird jetzt und in Zukunft Forschung und Entwicklung für diese Schlüsseltechnologie fördern.

Ist der Batteriestandort Deutschland für die Zukunft gerüstet?

Lesen Sie, was Expertinnen und Experten aus der Wissenschaft zum Status quo der deutschen Batterieforschung sagen und wie sie die Voraussetzungen für den Durchbruch einschätzen:

Batterieforschung



Prof. Martin Winter, MEET

2005 startete die deutsche Forschung im Bereich Hochenergie-Akkumulatoren eine Aufholjagd, die bis heute anhält – denn die Konkurrenz schläft nicht. Gerade regionale Kompetenzzentren und überregionale Verbundprojekte aus Industrie und Akademie führten Deutschland zurück an die Spitze der forschungsstärksten Nationen. Diesen Status gilt es in Zukunft auszubauen. Eine ganzheitliche Batterieforschung arbeitet im Gleichklang dreier Forschungsstränge, die komplementär sind und allesamt Aufmerksamkeit verdienen:

Forschung und Entwicklung

1. zu Lithium-Ionen-Batterien von heute und morgen, die den gesamten Wertschöpfungskreislauf und besonders Materialien, Zellen und Recycling einschließt.
2. an Lithium-Metall-Batterien, insbesondere mit Feststoffelektrolyten und/oder mit Schwefelkathode. Neben der Materialforschung werden zellsystemische Ansätze und die Zellproduktionsforschung künftig wichtiger.
3. an lithiumfreien Batteriesystemen: Mit Ausnahme der Natrium-Ionen-Batterie, die bisher (!) allerdings hinsichtlich Kosten und Performance noch nicht an die Lithium-Ionen-Batterie heranreicht, sind die alternativen lithiumfreien Systeme in den Bereich der Grundlagenforschung einzuordnen. Hier gilt es, prinzipielle Durchbrüche in der Materialforschung und in Laborzellen zu erreichen, bevor weitere Schritte, zum Beispiel zur Produktionsforschung, eingeleitet werden.

Materialforschung



Prof. Jürgen Janek, Uni Gießen

Von der langfristig orientierten Förderpolitik des BMBF haben sowohl die experimentelle und theoretische Materialforschung für Batterien, als auch die Erforschung von Zellkomponenten und Vollzellen im letzten Jahrzehnt enorm profitiert. Spezielle Forschungscluster mit Schlüsselthemen der Batterieforschung haben herausragende Verbünde geschaffen, die international sichtbar und konkurrenzfähig sind.

Der Kompetenzcluster FestBatt für Feststoffbatterien hat sich in kurzer Zeit hervorragend entwickelt und erarbeitet die wissenschaftlichen Grundlagen der verschiedensten Festelektrolyte und von Feststoffbatterien rasch und fokussiert, um deutschen Industrieunternehmen die zuverlässige Bewertung und Entwicklung entsprechender Technologien zu erleichtern. Ich bin immer wieder begeistert, wie intensiv die Zusammenarbeit der verschiedenen Expertinnen und Experten für Polymere, anorganische Festelektrolyte und Elektrochemie ganz allgemein ist – und wie eng der Austausch mit der Industrie ist. Für mich als Hochschullehrer spielt natürlich auch die gezielte Ausbildung von Expertinnen und Experten im Bereich der Elektrochemie, der Physikalischen Festkörperchemie und der Materialforschung im Rahmen von BMBF-Projekten eine wichtige Rolle. Die hervorragenden Berufsperspektiven sind ein echter Ansporn für den Nachwuchs und ich hoffe sehr, dass es den Unternehmen in Deutschland gelingt, die entstandenen wissenschaftlichen Rahmenbedingungen für wirtschaftlichen Erfolg rund um die Batterie zu nutzen.



Prozessforschung

Prof. Arno Kwade, TU Braunschweig

Das deutsche Batterie-Knowhow hat sich die letzten zehn Jahre sehr dynamisch entwickelt und Deutschland gehört hier zur weltweiten Spitze. Nachdem zunächst materialwissenschaftliches und prozesstechnisches Wissen professionalisiert wurde und sich deutsche Zellhersteller mit maßgeschneiderten Batteriezellen am Markt etablierten, werden in Kürze Pkw-Batteriezellen für den Massenmarkt in Gigafabriken produziert.

Dieser vor fünf Jahren kaum vorstellbare Erfolg ist maßgeblich der öffentlichen Förderung der Batterieforschung zuzuschreiben. Die Verbundprojekte von Industrie und Wissenschaft einerseits und rein akademische Verbundprojekte andererseits – zu nennen ist hier insbesondere der vom BMBF geförderte Kompetenzcluster zur Batteriezellproduktion ProZell – haben zu deutlichem Kompetenzaufbau, Vernetzung und gegenseitiger Befruchtung der Batteriekompetenzzentren in Deutschland geführt; zudem haben sie hochmotivierte und sehr gut ausgebildete Ingenieure und Chemiker hervorgebracht, welche die Batteriezellentwicklung und -produktion maßgeblich vorantreiben. Um künftig in der industriellen Zellfertigung führend zu sein, müssen wir im Sinne der Circular Economy die Batterieforschung ganzheitlich denken und durch tiefgehendes Wissen über Prozess-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen entlang des gesamten Materialkreislaufes die weltweite Führerschaft bei der Minimierung des CO₂-Footprints von Traktionsbatterien erreichen.



Zellforschung

Dr. Magret Wohlfahrt-Mehrens, ZSW Ulm/FPL

Damit Deutschland bei der Herstellung großformatiger Lithium-Ionen-Zellen in Zukunft zur Weltspitze gehören kann, ist der Weg vom Labor in die industrielle Anwendung entscheidend – genau hier setzt unsere Forschungsproduktionslinie (FPL) am ZSW an. Alle für die Produktion relevanten Prozesse können dort unter seriennahen Bedingungen entwickelt, optimiert und qualifiziert werden – von der Rezepturvorbereitung über die Elektrodenherstellung und Zellaassemblierung bis zum Qualitätscheck bei den Zellen. Die Linie ermöglicht es zudem, neue Materialkombinationen, Produktionsprozesse und Anlagenkomponenten prozesssicherer zu testen und weiterzuentwickeln, was entscheidend dazu beiträgt, Knowhow am Batteriestandort Deutschland auf- und auszubauen. Dies sichert Qualitätsstandards, was Deutschland insgesamt zugutekommt. Partner aus Wissenschaft und Industrie schätzen diese Eigenschaften und nutzen die Anlage seit rund sechs Jahren, um neue Technologien und Materialien gezielt weiterzuentwickeln.

In den Batterie-Kompetenzclustern (ProZell, InZePro, Aqua) leistet die FPL darüber hinaus als Referenz- und Integrationsplattform einen wesentlichen Beitrag zur vertieften Zusammenarbeit und Vernetzung vieler Forschungseinrichtungen.



Forschungsfertigung

Prof. Jens Tübke, Fraunhofer ICT

Auf dem Weg zum erfolgreichen Batteriefertigungsstandort wurden in Deutschland im vergangenen Jahr entscheidende Weichen gestellt. Neben der geplanten Ansiedlung von Zellfertigern und dem Start der IPCEI-Konsortien sind auch im Rahmen des Dachkonzepts des BMBF zur Forschungsfabrik Batterie weitere Forschungscluster aufgestellt worden. Mit der somit vollständigen Abdeckung der Wertschöpfungskette in der Forschung und Entwicklung gilt es den Pfad von der Forschung in die industrielle Umsetzung zu gestalten und mit Leben zu füllen.

Ein wichtiger Baustein dafür wird die Forschungsfertigung Batteriezelle sein, die neuartige Batteriezellkonzepte und -prozesse mit digitalisierten, flexiblen und modularen Fertigungsmethoden kombinieren, erforschen und skalieren soll. Die Forschungsfertigung Batteriezelle wird die Tauglichkeit innovativer Fertigungslinien zur wettbewerbsfähigen Massenproduktion von Batteriezellen nachweisen. Damit soll die Forschungsfertigung Batteriezelle das Risiko von industriellen Partnern bei der Überführung neuartiger Zellkonzepte und Produktionstechnologien in die Großserienfertigung wesentlich mindern, die Eintrittshürden für Hersteller signifikant senken und einen Wettbewerbsvorteil durch die Nutzung modernster Produktionsmethoden erarbeiten. Weiterhin wird die Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle mittel- und langfristig dazu beitragen, die Qualifikation von Fachpersonal für die Batteriezellfertigung zu sichern.



Systemforschung

Prof. Dirk Uwe Sauer, RWTH Aachen

Die erheblichen Kostensenkungen bei Lithium-Ionen-Batterien und die Ausdifferenzierung der Eigenschaftsprofile führen aktuell zu einer Vielzahl von Produktinnovationen. Längere Laufzeiten und höhere Leistungsfähigkeit ermöglichen in vielen Anwendungen die Loslösung vom Stromnetz. Dadurch konnte auch das Innovations- und das Knowhow-Niveau im Bereich der Batteriesystemintegration in Deutschland in den vergangenen zehn Jahren rasant anwachsen.

Durch das Dachkonzept zur Batterieforschung des BMBF wird nun einerseits die Lücke in der Wertschöpfungskette bei der Herstellung der Batteriezellen geschlossen. Andererseits wird die vernetzte Forschung in den verschiedenen Projekt- und Clusterverbünden dazu führen, dass Material- und Zellinnovationen schneller möglich sind hinsichtlich möglicher Kosten-, Sicherheits- und Lebensdauerbewertungen oder auch der Nachnutzung in Zweitanwendungen. Dadurch werden sich Innovationszyklen und Markteinführung (Times-to-market) erheblich verkürzen lassen.

Batterieforschung gestern – heute – morgen

Die Batterieforschung und -entwicklung konnte in den letzten Jahren weltweite Erfolge verzeichnen. Deutschland konnte dabei im internationalen Vergleich herausstechen.

Durch die öffentliche Förderung der Batterieforschung und -entwicklung und die dazugehörigen Industrieaktivitäten hat der Standort Deutschland in den letzten Jahren wichtiges Knowhow für die gesamte Batteriewertschöpfungskette erlangt. Reichen die bisherigen Forschungs- und Entwicklungsergebnisse aus, um die bisherige Wertschöpfung in neue Batterien zu überführen?

Messen lassen sich die Erfolge beispielsweise anhand der weltweiten Publikationsanteile Deutschlands: so hat sich die Batterieforschung gegenüber 2001 bis 2010 international auf einem Niveau von deutlich über fünf Prozent Weltanteil positioniert. In den letzten zehn Jahren hat sich die Anzahl der weltweiten Publikationen etwa vervierfacht, die der deutschen Publikationen hingegen verfünffacht. Dem Trend folgend wird erwartet, dass das Niveau durch anhaltende Forschungsintensität auch in Zukunft stabil bleibt bzw. sich weiter steigern lässt. Im Vergleich dazu haben die Publikationsaktivitäten weiterer EU-Länder gleichzeitig jedoch deutlich nachgelassen. Die Patentanmeldungen Deutschlands haben sich ebenfalls positiv entwickelt: Weltweite und deutsche Patentanmeldungen haben sich in den letzten zehn Jahren verdreifacht. Mit Patentanteilen von etwa zehn Prozent werden die Entwicklung der Batterieforschung und die Industrieaktivitäten in Deutschland weltweit wettbewerbsfähig eingeschätzt. Auch hier der Vergleich, die europäischen Anteile haben von etwa 22 auf 18 Prozent abgenommen.

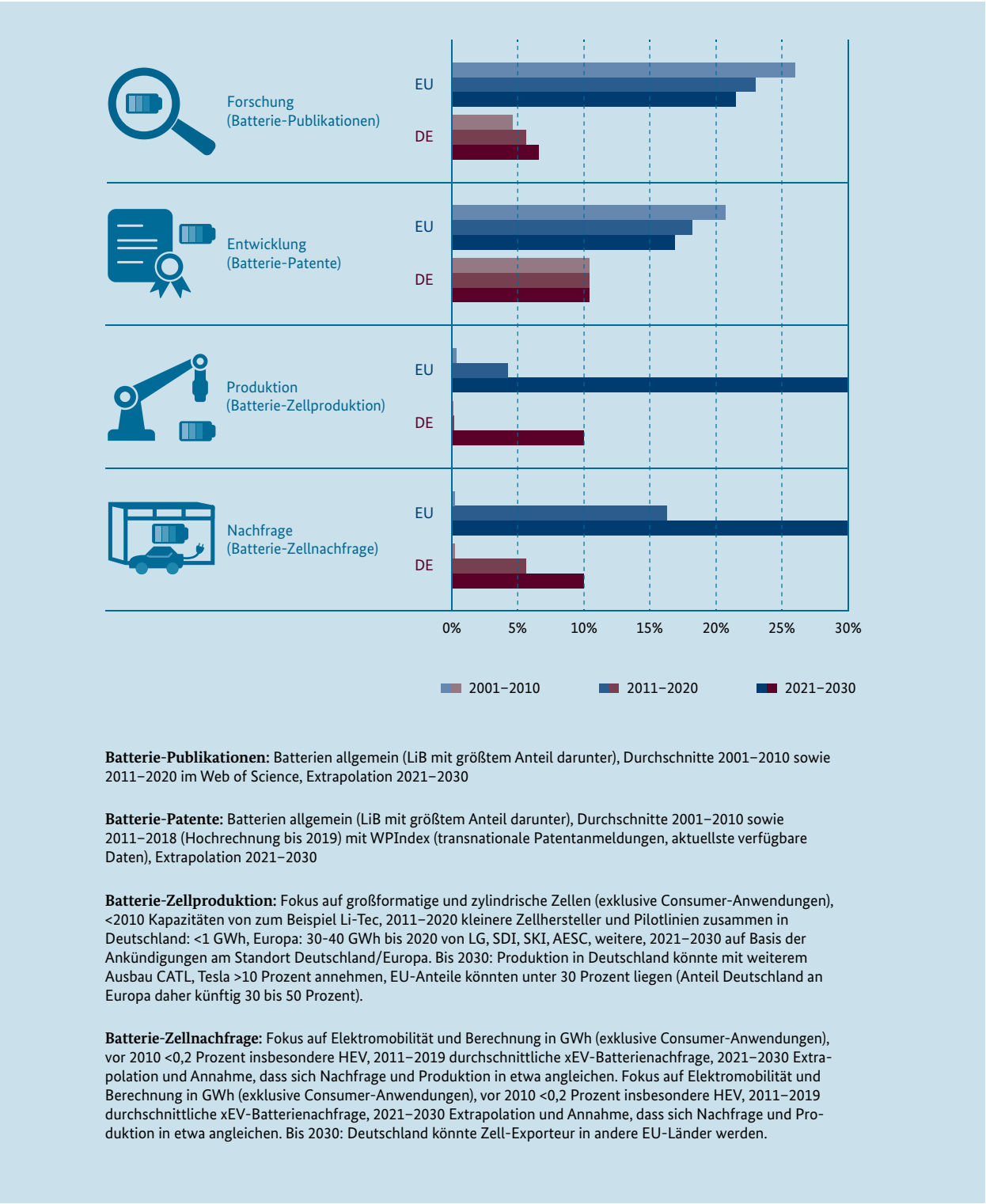
Parallel zu diesen Entwicklungen ist die Nachfrage nach Batteriezellen durch industrielle Systemintegratoren (OEM) in Deutschland bis heute auf über fünf Prozent gestiegen. Schätzungen der Nachfrageentwicklung zeigen, dass dieser Wert für Deutschland auf über zehn Prozent ansteigen könnte und für Europa auf rund 30 Prozent. Aktuelle Ankündigungen von Zellherstellern lassen darauf hoffen, die fehlende Wertschöpfung in den kommenden Jahren derart zu steigern, dass diese Nachfrage gedeckt werden kann (vergleiche Abbildung).

Die dargestellten Zahlen zeigen, dass Deutschland von den intensiven FuE-Aktivitäten der letzten zehn Jahre profitiert hat und in den kommenden zehn Jahren neben einem Hotspot der Batterieforschung auch gute Chancen hat zu einem Hotspot der Batteriefertigung zu werden.

Derzeit sind für den Zeitraum von 2020 bis 2030 Produktionskapazitäten für Batteriezellen mit einem Umfang von 1,2 bis 1,5 TWh in Europa angekündigt, über 30 Prozent davon dürften in Deutschland entstehen. Darunter sind auch ausländische Investoren. Am Standort Deutschland dürften damit zehn Prozent oder mehr der künftig entstehenden globalen Produktionskapazitäten aufgebaut werden, in Europa bis zu 30 Prozent.

Das Knowhow, welches Batterieforscherinnen und -forscher und Fachkräfte aufgebaut haben, muss vor diesem Hintergrund weiter der Industrie zugänglich werden, um mit der internationalen Konkurrenz Schritt zu halten. Der Bedarf an qualifiziertem Personal wird steigen, bei Material-/Komponentenherstellern, Batteriepack- und Modulherstellern bis hin zu den Anwenderindustrien, dem Maschinen- und Anlagenbau sowie vor- und nachgelagerten Industrien. Die positiven Rahmenbedingungen müssen erhalten bleiben, denn die Batterietechnologie ist die Schlüsseltechnologie dieses Jahrzehnts. Ziel des BMBF ist es weiterhin, die Weichen dafür zu stellen.

Anteile Deutschlands und Europas an der globalen Batteriewertschöpfung



Anteile Deutschlands und Europas an der weltweiten Batterieforschung, -entwicklung, -produktion und -nachfrage gestern – heute – morgen. Anteile von 5–15 Prozent können für eine Volkswirtschaft als hoch und wettbewerbsfähig angenommen werden. Quelle: Fraunhofer ISI

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Werkstoffinnovationen,
Batterie; Hereon, KIT
53170 Bonn

Stand

Juli 2022 (Erarbeitung 2021/2022)

Text

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Projekträger Jülich (PtJ) Forschungszentrum Jülich GmbH

Gestaltung und Redaktion

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationforschung ISI
Gestaltung: Jeanette Braun, Karin Herrmann, Alice Rensland
Redaktion: Dr. Jacob Leidenberger

Bildnachweise

Titel: stock.adobe.com/Nischaporn
S. 2/3: shutterstock.com/petrmalinak
S. 4: stock.adobe.com/Image Source
S. 5: shutterstock.com/Smile Fight
S. 7: shutterstock.com/Sergey Ryzhov
S. 8: BASF SE /Marcus Schwetasch, Fraunhofer ITWM/Gesa Ermel
S. 9: CUSTOMCELLS, Volkswagen AG
S. 10: KLiB e. V./Ernst Fessler
S. 11: Webasto Group
S. 12: Siemens AG
S. 13: BMBF
S.14: BMBF
S. 19: ARTVISU/Artur Krause
S. 23: Audi AG
S. 31: shutterstock.com/Matej Kastelic
S. 32: shutterstock.com/GaudiLab
S. 33: KLiB e. V./Ernst Fessler
S. 34: Frank Bierstedt, Judith Affolter
S. 35: KLiB e. V./Ernst Fessler

Diese Broschüre wurde im Rahmen der BMBF-Förderinitiative Batterie 2020 vom Fraunhofer ISI (im Rahmen des Begleitprojekts BEMA 2020, Förderkennzeichen 03XP0040B) entwickelt (Projektleitung: Dr. Axel Thielmann).

Diese Publikation wird als Fachinformation des Bundesministeriums für Bildung und Forschung kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

