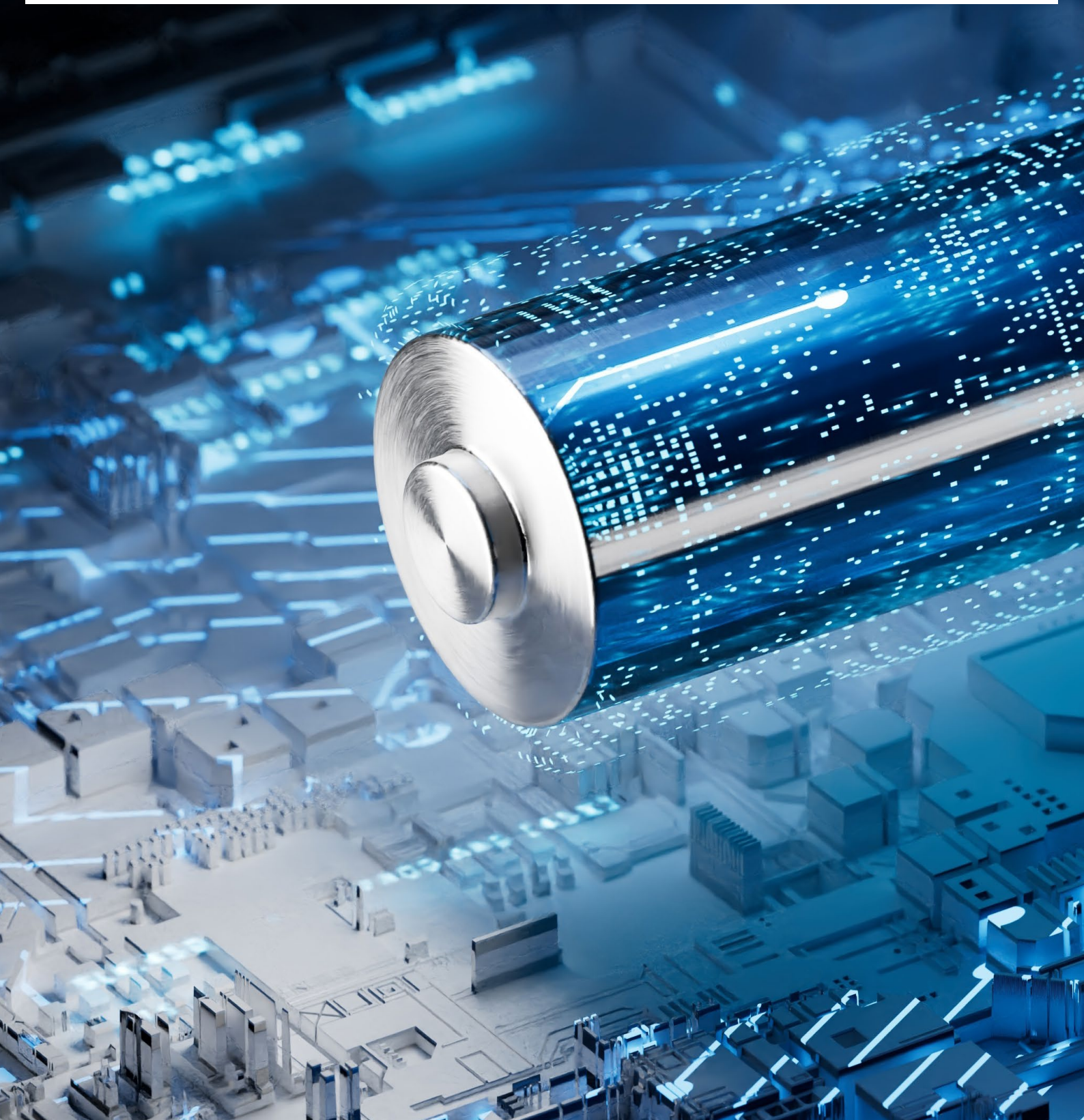




Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# BMBF-Dachkonzept Batterieforschung

Souveränität für eine nachhaltige Wertschöpfung von morgen





# Inhaltsverzeichnis

---

Executive Summary	2
Das Ziel: Aufbau einer technologisch souveränen, wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Batteriewertschöpfungskette	4
Die Strategie: Das BMBF-Dachkonzept Batterieforschung	7
Strategische Schwerpunkte des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung.....	9
Die fünf Handlungsfelder	11
Handlungsfeld 1: Vom Material zur Batteriezele – Material- und Produktionsprozessforschung als Grundlage für technologische Souveränität.....	11
Handlungsfeld 2: Skalierungsforschung und Digitalisierung – Schlüssel für eine wettbewerbsfähige Batterieproduktion in Deutschland.....	14
Handlungsfeld 3: Ressourcenschonende Batteriekreisläufe – nachhaltige Zukunft und Rohstoffsicherung.....	17
Handlungsfeld 4: Sprung in ein neues Batteriezeitalter – aussichtsreiche Technologievarianten der Zukunft.....	19
Handlungsfeld 5: Das Batterie(forschungs)ökosystem weiterentwickeln – Strukturen für Exzellenz, Innovation und Transfer ausbauen.....	21
Das Förderkonzept – Umsetzung der fünf Handlungsfelder	25
Förderinstrumente.....	26
Kompetenzcluster.....	26
Industrieführte Verbundprojekte.....	27
Internationale Kooperationen.....	28
Nachwuchsförderung.....	29
Governance des Dachkonzepts.....	29

## Executive Summary

**Das Dachkonzept Batterieforschung ist die strategische und förderpolitische Grundlage des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) für die ganzheitliche Forschung an Batterietechnologien im Sinne einer wettbewerbsfähigen zirkulären Wirtschaft. Das bisherige Konzept setzte auf eine effiziente Vernetzung aller relevanten Akteure und den Transfer neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die industrielle Anwendung. Umgesetzt wurde dieses Konzept unter anderem durch den Aufbau einer Innovationspipeline mit Batteriekompetenzzentren und Clusterstrukturen als Keimzelle innovatorischen Fortschritts.**

Das neue **BMBF-Dachkonzept Batterieforschung** baut auf den erfolgreich etablierten Strukturen auf und erweitert diese. Es zählt auf das übergeordnete Ziel des **Aufbaus einer technologisch souveränen, wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Batteriewertschöpfungskette für Deutschland und Europa** ein.

Neue Fördermaßnahmen werden so gestaltet, dass sie einen Beitrag dazu leisten, dieses Ziel zu erreichen. Bestehende Maßnahmen und Innovationsinstrumente werden weiterentwickelt, um noch effektiver die zugehörigen Teilziele zu erreichen – von der Grundlagenforschung über mittlere technologische Reifegrade bis hin zum Transfer in die industrielle Anwendung.

Schwerpunkte setzt das neue BMBF-Dachkonzept bei den Themen Material- und Komponentenentwicklung, Prozess- und Fertigungstechnik, Recycling und Kreislaufwirtschaft sowie Digitalisierung und Skalierungsforschung. Sowohl Lithium-Ionen-Systeme als auch hierzu alternative Batteriesysteme werden betrachtet. Abhängigkeiten bei Rohstoffen und Komponenten sollen reduziert werden. Kompetenzen werden entlang der gesamten Batteriewertschöpfungskette mitgedacht, ausgebaut und – sofern notwendig – geschaffen. Gesellschaftliche und industrielle Bedarfe werden noch stärker in den Blick genommen. Nationale wie internationale Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft werden gezielt ausgebaut und gefördert. So wird ein leistungsstarkes Innovationsökosystem aus wissenschaftlichen und industriellen Stakeholdern geschaffen. Kleine und mittlere Unternehmen werden bewusst berücksichtigt und eingebunden, die Ausbildung und Verfügbarkeit wissenschaftlicher und technischer Fachkräfte verbessert.

Diese förderpolitische Strategie des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung wird in fünf Handlungsfeldern

umgesetzt. Jedes Handlungsfeld ist auf das übergeordnete Ziel des BMBF-Dachkonzepts ausgerichtet und definiert eigene Ziele:

- Handlungsfeld 1 adressiert Material- und Prozessforschung für Batteriezellen. Dies beinhaltet Entwicklung, Synthese und Prozessierung von Materialien und Komponenten für nachhaltige und leistungsstarke Batterien sowie die Entwicklung maßgeschneiderter Messtechnik, Analytik und Werkzeuge zur Qualitätssicherung.
- Handlungsfeld 2 verbindet Skalierungsforschung und Digitalisierung. Durch Nutzung digitaler Technologien soll die Serienfertigung neuer und neuartiger Batterien auf Pilotlinien im industrierelevanten Maßstab demonstriert werden.
- Handlungsfeld 3 widmet sich der Nachhaltigkeit von Batterien. Mit ressourcenschonenden Batterie-, Batteriekomponenten- und Materialkreisläufen, umfassenden Recyclingverfahren sowie sinnvollen Zweitnutzungskonzepten werden Resilienz und Nachhaltigkeit der Batteriewertschöpfungskette maßgeblich verbessert.
- Handlungsfeld 4 betrachtet aussichtsreiche Technologievarianten für künftige Batteriesysteme. Schwerpunkte liegen auf den Themenkomplexen Festkörper- und Natrium-Ionen-Batterien. Darüber hinaus finden weitere Batterietechnologien mit in der Regel noch niedrigeren technologischen Reifegraden und zu Lithium alternativen Zellchemien Berücksichtigung.
- Handlungsfeld 5 komplementiert den ganzheitlichen Ansatz durch Fortentwicklung des Ökosystems Batterieforschung. Strukturen für Exzellenz, Innovation und Transfer werden verbessert und im Bedarfsfall geschaffen oder ausgebaut.

In der Umsetzung des Dachkonzepts spielen unterschiedliche förderpolitische Instrumente, wie markt- oder nachfrageorientierte Fördermaßnahmen, eine zentrale Rolle. Sie dienen dazu, die im Dialog mit den Akteurinnen und Akteuren aus Akademie und Industrie formulierten Ziele der Forschungsagenda zu erreichen. Als Teil eines Innovation-Push-Ansatzes werden relevante, hochinnovative Themen aufgegriffen und in definierten Fördermaßnahmen erforscht. Zeitgleich werden über ein

Market-Pull-Konzept Ansätze zu zentralen Batterie-, Fertigungs- und Prozess- sowie Recyclingtechnologien in verschiedenen Innovationsstadien aufgegriffen und in Richtung industrieller Anwendung weiterentwickelt. Die zielorientierte Forschungsagenda des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung wird so über Forschungsprojekte in Verbänden und als Einzelvorhaben innerhalb der fünf Handlungsfelder – ausgerichtet entlang der gesamten Batteriewertschöpfungskette – umgesetzt.

# Das Ziel: Aufbau einer technologisch souveränen, wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Batterie-wertschöpfungskette

Die Transformation der deutschen Industrie unter den Anforderungen nachhaltigen Wirtschaftens und daraus abgeleiteter Ziele, insbesondere der Klimaziele, ist zentral für die Zukunftsfähigkeit Deutschlands als Wirtschafts- und Technologiestandort; auch im europäischen Kontext. Die Europäische Kommission hat daher mit dem Green Deal<sup>1</sup> ein klimaneutrales Europa bis 2050 als erklärtes Ziel definiert. Die Entkopplung des Energiesektors, der Wirtschaft und der Gesellschaft von fossilen Energieträgern ist hierfür von zentraler Bedeutung. Insbesondere in den Sektoren Energieerzeugung sowie Mobilität (verantwortlich für 77 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union<sup>2</sup>) bedarf es erheblicher Anstrengungen für einen erfolgreichen Wandel. Bisher waren diese Ziele in Deutschland eng mit der **Energiewende** verknüpft, im Kontext der **Zeitenwende** gewinnen eine erhöhte Versorgungssicherheit und die Senkung der Abhängigkeit von Energie(träger)importen an Bedeutung. Ein wesentlicher Baustein bei der **Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energieträger sind Energiespeichertechnologien**. Die effiziente und möglichst verlustfreie Speicherung regenerativ erzeugten Stroms in Batteriespeichern ist hier technologisch wie wirtschaftlich das Mittel der Wahl<sup>3</sup>. Batteriespeicher können darüber hinaus die Stabilität und Verlässlichkeit des Stromnetzes deutlich erhöhen und Abhängigkeiten vom Import von Energieträgern reduzieren.

Für das BMBF stellt die **Batterie eine Schlüsseltechnologie im eigentlichen Sinne** dar. Bereits in der Hightech-Strategie<sup>4</sup> der Bundesregierung war die systemische Bedeutung der Batterietechnologie hervorgehoben, auch die Europäische Kommission kommt zu diesem Schluss<sup>5</sup>. Die Zukunftsstrategie Forschung und Innovation<sup>6</sup> der Bundesregierung führt

diesen Ansatz fort. In der Zukunftsstrategie wurden, basierend auf den im Koalitionsvertrag definierten Zukunftsfeldern, sechs Missionen zu deren Umsetzung definiert. Die Batterie als Schlüsseltechnologie weist deutliche Bezüge zur Sicherung unserer technologischen Souveränität, der Mission vier, auf. Die Entwicklung neuer Batterietechnologien ist innerhalb der ersten Mission zur nachhaltigen Mobilität vorgesehen. Das BMBF-Dachkonzept Batterieforschung ist daher so ausgerichtet, dass es auf die Ziele der vorgenannten deutschen wie europäischen Strategien und Initiativen sowie auf die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, das Klimaschutzgesetz der Bundesregierung, den European Green Deal und die EU-Batterieverordnung einzuht. Zusätzlich bestehen Bezüge zur Nachhaltigkeitsagenda der Vereinten Nationen<sup>7</sup>.

Tragfähige Strukturen müssen geschaffen werden, um die Grundlagen für eine zukunftsfähige Batteriezellproduktion – sowohl mit aktuellen und bewährten Konzepten als auch mit innovativen Ansätzen wie Festkörperbatterien, Natrium-Ionen-, Magnesium-, Lithium-Schwefel-Batterien und weiteren – zu schaffen. Das BMBF strebt eine möglichst **vollständige Abdeckung der Wertschöpfungskette Batterie am Standort Deutschland sowie europaweit** als zirkuläres Modell an. Durch die Erleichterung der **Überführung von Forschungsergebnissen in die industrielle Anwendung** sollen Wertschöpfung gelingen und Arbeitsplätze geschaffen und gesichert werden<sup>8</sup>.

Die Schlüsseltechnologie Batterie hat in den vergangenen Jahren mit hohem Tempo in verschiedenen Branchen und zahlreichen Anwendungen weiter an Bedeutung gewonnen, insbesondere im Kontext der **Elektromobilität**. Der Batterietyp beeinflusst

1 EGD (European Green Deal): [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de)

2 EEA (European Environment Agency): <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180301STO98928/greenhouse-gas-emissions-by-country-and-sector-infographic>

3 EFI-Gutachten 2022, Abschnitt B2 (<https://www.e-fi.de/publikationen/gutachten>)

4 <https://www.2030agenda.de/de/publication/deutschland-und-die-un-nachhaltigkeitsagenda>

5 EGD (European Green Deal): [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de)

6 [https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/zukunftsstrategie/zukunftsstrategie\\_node.html](https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/zukunftsstrategie/zukunftsstrategie_node.html)

7 <https://www.2030agenda.de/de/publication/deutschland-und-die-un-nachhaltigkeitsagenda>

8 Forschung und Innovation für die Menschen, Die Hightech-Strategie 2025, BMBF, September 2018

## *Unser Ziel ist es, eine technologisch souveräne, wettbewerbsfähige und gleichzeitig nachhaltige Batteriewertschöpfungskette in und für Deutschland und Europa aufzubauen.*

maßgeblich Reichweite, Preis und Ladezeit von Elektrofahrzeugen. Zudem macht die Batterie derzeit etwa ein Drittel der Wertschöpfung eines Elektrofahrzeugs aus<sup>9</sup>. Batterien gewinnen außerdem als **stationäre Stromspeicher** in einem flexiblen und resilienten Energieversorgungssystem zunehmend an Bedeutung, da sie effizient die dezentrale Speicherung elektrischer Energie aus regenerativen Quellen ermöglichen. Sie gehören zu den effizientesten Medien, Energie auch über längere Zeiträume zu speichern und damit **Versorgungssicherheit** zu gewährleisten. Gepaart mit weiteren systemischen Ansätzen, wie dem Aufbau einer grünen Wasserstoffinfrastruktur und -wirtschaft, und Konzepten der Sektorkopplung wird Deutschland zum Vorreiter für die **Transformation der Industrie** als Teil eines **zukunftsfähigen, resilienten und klimaneutralen Energieökosystems** in Europa.

Gleichzeitig drängen neben der **Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe**<sup>10</sup> (unter anderem Lithium, Nickel und Kobalt) weitere geopolitische Herausforderungen zum Handeln: die **Schaffung nachhaltiger wie fairer Versorgungs- und Produktionsketten** sowie die **Senkung der Abhängigkeiten** vom Import fossiler Energieträger. Auch bei End- und Zwischenprodukten gilt es, Abhängigkeiten von teils politisch instabilen Weltregionen zu reduzieren. Deutschland muss bei den Batterietechnologien künftig **technologisch souverän** agieren können. Das impliziert, Technologien zu erforschen und weiterzuentwickeln sowie

mithilfe neuer Technologien wettbewerbsfähige und technologisch führende Lösungen in Märkte und Gesellschaft zu transferieren, ebenso wie die hierfür notwendigen Kompetenzen auf- und auszubauen<sup>11</sup>. Die Zukunftsfelder des Koalitionsvertrags sollen deshalb im Rahmen der Zukunftsstrategie Forschung und Entwicklung für eine nachhaltige und souveräne Zukunft umgesetzt werden<sup>12</sup>. Auch für das Erreichen der nationalen Nachhaltigkeitsziele<sup>13</sup> ist die Sicherung unserer technologischen Souveränität im Bereich der Batterietechnologien unabdingbar. Daneben gilt es, den ökologischen Fußabdruck von Batterien zu senken. Herausforderungen ergeben sich derzeit unter anderem durch den hohen Energiebedarf bei den Herstellungsschritten von Batterien und den damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie bei der verlässlichen Versorgung mit nachhaltigeren Rohstoffen und Zwischenprodukten.

Aktualisierung und Neuausrichtung des bisherigen BMBF-Dachkonzepts folgen dabei einem in die Zukunft gerichteten Ansatz. Eine zielführende, **langfristige und dennoch flexible Förderung von Schlüsseltechnologien** ist aus Sicht des BMBF erforderlich, um langfristig technologisch souverän agieren zu können. Das Bundesforschungsministerium verfolgt hierbei einen ganzheitlichen Ansatz, der von der Forschungsförderung über den Forschungstransfer und die Etablierung von Technologie-Ökosystemen bis zum Auf- und Ausbau einer adäquaten Fachkräftebasis

9 Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 4, 1. Zwischenbericht zur Wertschöpfung, Oktober 2019

10 „Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken“, EU Kommission, Brüssel 03.09.2020

11 Schieferdecker, Ina; March, Christoph (2020): Digitale Innovationen und Technologiesouveränität, Wirtschaftsdienst, ISSN 1613-978X, Springer, Heidelberg, Vol. 100, Iss. Konferenzheft pp30-35, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10273-020-2612-8>

12 Mehr Fortschritt wagen, Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit, Koalitionsvertrag 2021

13 Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Weiterentwicklung 2021, Die Bundesregierung, Dezember 2020

reicht<sup>14</sup>. Mit dem **Dachkonzept Batterieforschung** setzt das BMBF sein Konzept gezielt um und forciert Schaffung und Sicherung der **vollständigen Kompetenzen entlang der gesamten Batteriewertschöpfungskette**, inklusive der **Kontrolle aller Integrationsstufen** – von den Rohstoffen über Materialien und Batteriezellen, weiter über das Batteriesystem bis hin zum Recycling.

Gelingen soll dies durch die optimale **Vernetzung der Akteure** entlang der Wertschöpfungskette Batterie mit dem Ziel, den **Transfer neuer Ideen aus der Wissenschaft in die Anwendung** entscheidend zu beschleunigen. Dafür fokussiert dieses Dachkonzept

- die Förderung der Forschung und Entwicklung von den Grundlagen bis hin zu mittleren technologischen Reifegraden (engl. „Technology Readiness Level“, TRL), um neue, wettbewerbsfähige und technologisch führende **Innovationen** zu stimulieren;
- den **Transfer von Forschungsergebnissen in die Anwendung** durch die gezielte Förderung von Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft;
- die **Ausbildung von wissenschaftlichen und technischen Fachkräften**, die mit den neuen Technologien

umgehen und sie auf ihre Anwendungsfelder in Wirtschaft und Gesellschaft anpassen können;

- die **Stärkung von kleinen und mittleren Unternehmen inklusive Start-Ups** als Protagonisten technologischen Fortschritts und Wandels;
- die **Schaffung eines Innovationsökosystems** für nachhaltige und leistungsstarke Energiespeicher sowie die **Vernetzung der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Stakeholder** des Innovationsökosystems;
- die **internationale Vernetzung und Etablierung von Kooperationen mit Exzellenzzentren der Forschung** als Chance, wissenschaftliches Know-how mit Fachleuten anderer Regionen zu diskutieren, gemeinsam fortzuentwickeln und damit neue Technologien schneller voran und in die Anwendung zu bringen.

Der Begriff „Batterietechnologien“ ist im Kontext dieses Dachkonzepts nicht auf Batterietypen oder bestimmte Zellchemien beschränkt, „Batterietechnologien“ schließt im Folgenden auch Prozess- und Fertigungstechnologien für Batteriezellen sowie deren Komponenten und Materialien ein.

<sup>14</sup> Technologisch souverän die Zukunft gestalten, BMBF-Impulspapier zur technologischen Souveränität, April 2021



# Die Strategie: Das BMBF-Dachkonzept Batterieforschung

Das Dachkonzept Batterieforschung bildet die strategische und förderpolitische Grundlage des Bundesforschungsministeriums für die Batterieforschung und ist aus dem Materialforschungsrahmenprogramm der Bundesregierung „Vom Material zur Innovation“ erwachsen. Das BMBF-Dachkonzept Batterieforschung verfolgt das Ziel, die in Deutschland vorhandenen Batteriezentren, -kompetenzen und Clusterstrukturen sowie neue Forschungs- und Förderansätze auf eine effiziente und zukunftsgerichtete Innovationspipeline auszurichten (Abbildung 1). Dabei sollen die industriellen Bedarfe künftig noch stärker in den Blick genommen werden. Mit diesem Dachkonzept schlägt das BMBF den Bogen von der Erforschung neuer Batteriekonzepte hin zur Industrialisierung, etwa durch die Stärkung der Skalierungsforschung und mithilfe der Forschungsfertigung Batteriezelle (FFB).

Die Innovationspipeline innerhalb des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung fügt sich dabei in das deutsche Innovationsgefüge ein. Ideen aus der akademischen Grundlagenforschung durchlaufen zunächst einen Reifeprozess, bevor sie in die Anwendung gelangen. Das BMBF stimuliert dabei die Fortentwicklung der Technologiereife aussichtsreicher

Konzepte und Technologien, in der Regel bis TRL 6. Die Weiterentwicklung über TRL 7 bis TRL 9 und in die Anwendung kann nur unter Beteiligung der Industrie erfolgen und setzt eine entsprechend hohe Eigeninitiative voraus. Um den Weg in die Anwendung weiter zu verbessern, richtet das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) seine Fördermaßnahmen auf genau diesen TRL-Bereich aus. Eine fortwährende Abstimmung zwischen BMBF und BMWK erfolgt dabei mit dem Ziel, Innovationsprozesse zu verbessern und zu beschleunigen und nimmt auch EU-Initiativen in den Blick.

Die Ausgangslage für die erfolgreiche Etablierung einer technologisch souveränen und wettbewerbsfähigen Batteriewertschöpfungskette in Deutschland ist gut!

Die deutsche Batterieforschung, akademisch wie industriell, ist dank der BMBF-Maßnahmen der vergangenen Jahre gut aufgestellt, untereinander vernetzt und international sichtbar. Das BMBF unterstützt diesen Aufbau bereits seit einer Dekade mit über 800 Mio. € (Abbildung 2). Die bestehenden Strukturen sehen sich jedoch einer hohen Dynamik bei den

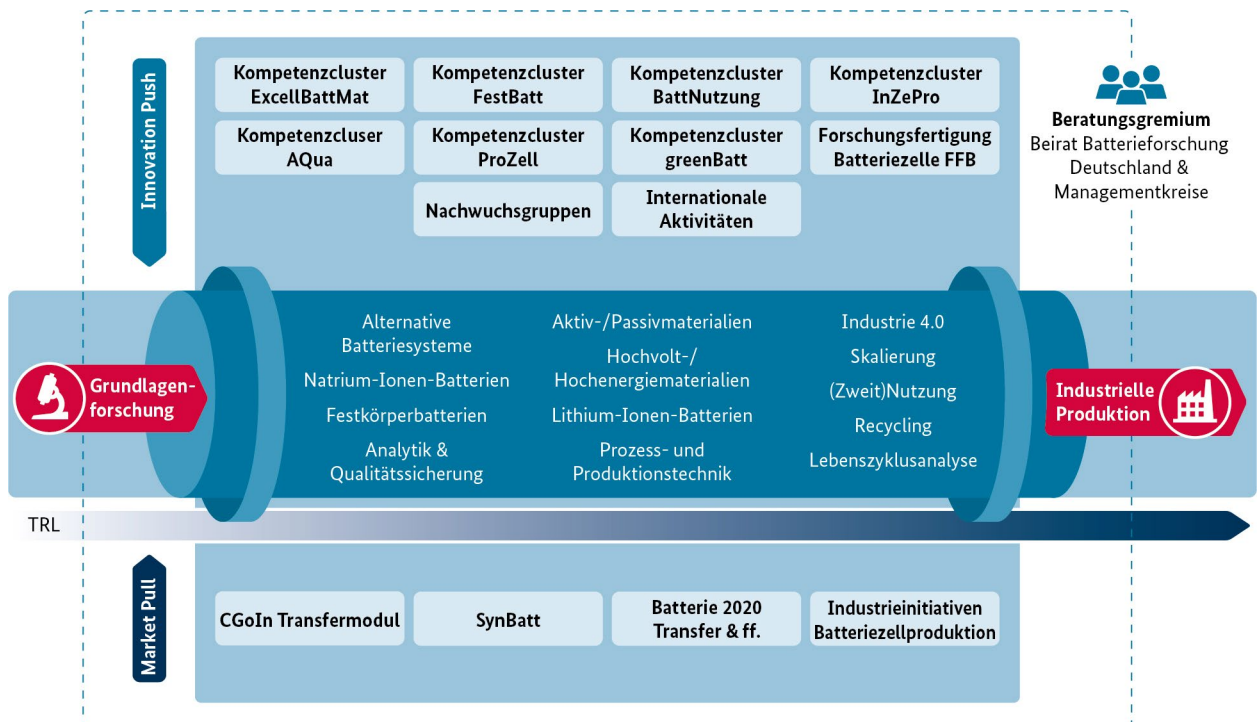


Abbildung 1: Innovationspipeline Batterieforschung



Abbildung 2: Übersicht Batterieforschung des BMBF

Batterieinnovationen gegenüber, insbesondere aus dem Bereich der Elektromobilität, begleitet von einem Hochlauf der Batterie- und -zellproduktion in Europa (1,2 – 1,5 TWh Produktionskapazität bis 2030)<sup>15</sup> sowie Herausforderungen bei der Transformation der Automobilindustrie. Eine Folge sind zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, allen voran bei Automobil-Erstaurüstern (OEM) sowie Maschinen- und Anlagenbauern, die auch durch Maßnahmen des BMWK, wie den Batterie-IPCEIs (Important Project of Common European Interest), unterstützt werden<sup>16</sup>.

Mit Blick auf die weiterhin rapide Entwicklung im Bereich der Batterietechnologien für mobile und stationäre Anwendungen und die zunehmenden Aktivitäten zur Errichtung von Produktionskapazitäten für Batteriezellen in Deutschland und Europa müssen bestehende Ansätze teils neu ausgerichtet und

gedacht werden. Bestehende Abhängigkeiten von Regionen außerhalb Europas bei Rohstoff-, Material- und Energieverfügbarkeiten müssen reduziert und die Resilienz des Industriestandortes Europa mit einem innovativen deutschen Wirtschaftsmotor erhöht werden. Das zunehmende Engagement und die Schritte der heimischen Industrie bei der gerade ablaufenden Transformation sind ein guter Start auf dem Weg in ein technologisch souveränes, nachhaltiges Batterieökosystem und werden von der Bundesregierung unterstützt. Gleichzeitig müssen neue Abhängigkeiten – etwa bei Maschinen und Komponenten – vermieden werden. Die Innovationskraft des Maschinen- und Anlagenbaus in Deutschland gilt es gezielt zu stärken und Innovationen auch in Anlagen und Maschinen, Prozessen und Fertigungen umzusetzen. Dabei muss sich der Maschinen- und Anlagenbau neu organisieren und schlagkräftig vernetzen, um gegen die starke internationale

<sup>15</sup> Fraunhofer ISI, <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2022/presseinfo-17-Batteriezellfertigung-Verzehnfachung-2030.html>

<sup>16</sup> <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2021/10/10-ipcei-gemeinsam-europaisch-und-hoch-innovativ.html>

Konkurrenz bestehen zu können. Entstehen Batterieproduktionskapazitäten aktuell mangels Erfahrung und Verfügbarkeit bei europäischen Herstellern mit einem hohen Anteil außereuropäischer Maschinen und Anlagen, muss hier gegengesteuert werden. Durch den Transfer neuer Ideen und Konzepte in Maschinen- und Anlagentechnik sowie die Vernetzung der europäischen Akteure aus Industrie, Forschung und Entwicklung kann die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus gesichert werden. Mittelfristig sollen so bessere Giga-Factories mit deutscher und europäischer Maschinen- und Anlagentechnik zum Standard werden.

Entsprechend dieser aktuellen Entwicklungen, Randbedingungen und Zielsetzungen, hat das BMBF sein Dachkonzept zur Batterieforschung neu

ausgerichtet. Dies erfolgte mit dem Ziel, die Bedarfe der Forschung, der Industrie und des Marktes noch zielgerichteter zu adressieren. In Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft wurden mittelfristige Ziele und langfristige Perspektiven auf dem Weg zu einer leistungsstarken, nachhaltigen und technologisch souveränen Batteriewertschöpfungskette definiert und konkrete Handlungsfelder zur Erreichung dieser Ziele erarbeitet (vgl. Kapitel 4). Diese sind und werden laufend im Kontext weiterer europäischer wie deutscher Aktivitäten – allen voran den Maßnahmen des BMWK, inklusive der Batterie-IPCEIs – abgestimmt. Die Instrumente erlauben dabei eine ausreichende Flexibilität, um auf sich ändernde Randbedingungen und kommende Technologieentwicklungen reagieren zu können.

## Strategische Schwerpunkte des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung

Ein Schwerpunkt wird im Bereich der **Prozessierung von Materialien, Komponenten und Batteriezellen** gesetzt. Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse von Batteriematerialien sowie die dabei verwendeten Hilfsstoffe werden zielgerichtet (weiter)entwickelt. Die Themen **ökologische Nachhaltigkeit (Umwelt) und ökonomische Nachhaltigkeit (Wirtschaftlichkeit)** spielen in diesem Kontext eine stärkere Rolle als bisher. Ergänzend werden **Analyse- und Bewertungsmethoden sowie Messtechniken** berücksichtigt, denn nur mit ihnen lassen sich Optimierungspotentiale erst identifizieren und ressourceneffizientere Verfahren ableiten.

Im Themenfeld **Skalierungsforschung und Digitalisierung** liegt ein weiterer Schwerpunkt. Die Skalierungsforschung in höhere TRL und schließlich ein verbesserter Transfer in die Anwendung vervollständigen die Innovationspipeline des BMBF-Dachkonzepts. Des Weiteren werden Instrumente der **Digitalisierung zur Optimierung der Wertschöpfungskette Batterie** angepasst und weiterentwickelt. Moderne, digitale Methoden leisten in der **Prozess- und Produktionsoptimierung** unter anderem einen zentralen Beitrag zur Ausschussminimierung und somit zur **Ressourcenschonung**. Die **digitale Verknüpfung von Material-, Prozess- und Batteriezelleigenschaften** macht Zusammenhänge deutlich und lässt die Batteriezellproduktion energie- und ressourceneffizienter

werden. Die Umsetzungsfähigkeit all dieser Ansätze wird an den unterschiedlichen Forschungslinien zur Batteriezellproduktion untersucht. Die in Münster entstehende Forschungsfertigung Batterie zelle (FFB) als der große Demonstrator bringt diese Konzepte zusammen und skaliert sie in den industrieanalogen Maßstab weiter. Durch das Zusammenspiel aller Beteiligten entsteht so eine in Europa und weltweit einzigartige Innovationskaskade.

Neben der notwendigen **Weiterentwicklung lithium-basierter Batteriesysteme** mit Flüssigelektrolyt, beziehungsweise hohen Anteilen an Flüssigelektrolyt, wird die **Entwicklung aussichtsreicher Technologievarianten der Zukunft** forciert; insbesondere von Festkörperbatterien und Natrium-Ionen-Batterien (NIB). Obwohl es bereits erste internationale Anstrengungen zur Kommerzialisierung dieser Systeme gibt, befindet sich Deutschland – aufgrund der bisher wenig ausgeprägten Wettbewerbssituation und der bisher gerade in der Materialentwicklung geringen TRL – in einer guten Ausgangsposition. Durch den Auf- und Ausbau eigenen Knowhows bei lithiumbasierten wie alternativen Batterievarianten wird die technologische Souveränität Deutschlands und Europas langfristig gesichert und erhöht. Die deutschen technologieoffenen Forschungs- und Entwicklungslinien spielen auch hierbei eine zentrale Rolle.

Im Kontext von Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit schließt die **ganzheitliche Betrachtung des Batterielebenszyklus** hier an – vom Material über die Produktion und Nutzung bis zum Recycling. Deshalb werden in einem weiteren Schwerpunkt eine **resiliente Rohstoffversorgung und ressourcenschonende Materialkreisläufe** adressiert. Bei der Entwicklung neuer Batteriematerialien und -systeme werden Aspekte der **Kreislaufwirtschaft** von Beginn an stärker berücksichtigt. Derzeit noch energie- und kostenintensive Rückgewinnungsprozesse werden verbessert. Schließlich wird über Daten und Modelle die Basis für Ökobilanzierungen und Life-Cycle-Engineering von Batterien verbessert und Szenarienanalysen für unterschiedliche Anwendungsprofile und Nutzungsverläufe von Batteriezellen, auch im sogenannten **2nd-Life**, durchgeführt.

Weitere Ziele und damit Schwerpunkte im BMBF-Dachkonzept Batterieforschung sind Schaffung und

Ausbau besserer **Strukturen für Exzellenz, Innovation und Transfer. Grundlagenforschung** für Batterien **bildet die Basis der Innovationen von morgen**. Durch die **europäische und weltweite Vernetzung** wird die Zusammenarbeit mit führenden Batteriestandorten gestärkt und durch gemeinsames Handeln die technologische Entwicklung beschleunigt. Funktionierende **Batterieökosysteme** sollen erweitert und neue geschaffen werden. Forschungsaktivitäten von der Grundlagenforschung (TRL 1) bis hin zur Technologiedemonstration (TRL 6) werden zielorientiert weiter ausgebaut, um so neue **Innovationskaskaden** zu initiieren.

Die Umsetzung der förderpolitischen Strategie zur Erreichung der beschriebenen Ziele erfolgt innerhalb der folgenden fünf Handlungsfelder.

## Die fünf Handlungsfelder

Der Markthochlauf der Elektromobilität sowie der steigende Bedarf an Batteriespeichern für stationäre Anwendungen erfordert eine hohe Zuverlässigkeit von Lieferketten sowie eine dauerhafte und verlässliche Verfügbarkeit von Rohstoffen und Materialien. Mit Lithium, Kobalt und natürlichem Grafit hat die EU in 2020 drei für heutige Batteriezellproduktionen zentrale Rohstoffe in die „Liste kritischer Rohstoffe 2020“<sup>17</sup> aufgenommen. Zur Etablierung einer effektiven Batterie-Kreislaufwirtschaft werden neben der Entwicklung verbesserter und ressourcenschonenderer Batteriematerialien und Batterieproduktionsprozesse (Handlungsfelder 1 und 2) gezielt Maßnahmen rund um das Recycling und den Lebenszyklus in

Handlungsfeld 3 umgesetzt. Eine weitere Reduzierung von Abhängigkeiten bei Rohstoffen und Materialien können alternative Zellchemien bieten. Kommende Technologieentwicklungen müssen antizipiert werden, von Natrium-Ionen- und Festkörperbatterien bis zu noch explorativen Ansätzen wie etwa Metall-Luft-Batterien (Handlungsfeld 4). Eingebettet wird dieser Gesamtansatz in ein System aus Innovationskaskaden – von der Grundlagenforschung über den Transfer in die Anwendung. Durch die Schaffung eines gut funktionierenden Batterie(forschungs)ökosystems, in dem Wirtschaft und Wissenschaft synergetisch vernetzt sind, werden Ergebnistransfer und Innovationszyklen zielgerichtet stimuliert und beschleunigt (Handlungsfeld 5).

### Handlungsfeld 1: Vom Material zur Batteriezelle – Material- und Produktionsprozessforschung als Grundlage für technologische Souveränität

**Themen: Entwicklung der Materialien und Prozesse für die Batterie von morgen**

#### 1.1 Entwicklung, Synthese und Prozessierung von Materialien und Komponenten für nachhaltige und leistungsstarke Batterien

Neben den aktiven Elektrodenmaterialien, den Hauptbeteiligten am Energiespeichervorgang in der Batterie, haben auch die notwendigen inaktiven Materialien und die Prozessierungs- und Herstellungsschritte (insbesondere bei der Elektrodenherstellung) einen erheblichen Einfluss auf die Eigenschaften einer Batteriezelle. Um die Performance von Batterien weiter zu steigern, gilt es daher, innovative Binder, Leitadditive und Elektrolyte zu entwickeln. Auch sind zielgerichtet optimierte Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse von aktiven und inaktiven Batteriematerialien und Batteriekomponenten (weiter) zu entwickeln, da sie einen maßgeblichen Einfluss auf Leistungsfähigkeit und Eigenschaften der gefertigten Batteriezellen haben. Neben der chemischen Zusammensetzung werden beispielsweise Struktur, Partikelgrößen(verteilung) und Kristallinität der Materialien beeinflusst, was wiederum Prozessrouten und Leistungsfähigkeit der Batteriezelle beeinflusst.

Da sich diese Einflüsse und Eigenschaften je nach Produktionsmaßstab und -verfahren gravierend ändern, müssen im Labormaßstab angewandte Verfahren und Prozesse – für Batteriematerialien genau wie für Batteriekomponenten und ganze Batteriezellen – auf ihre Skalierfähigkeit, wirtschaftlich wie sicherheitstechnisch, untersucht werden. Ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit müssen von Beginn an berücksichtigt werden. Beispielsweise werden diesbezüglich die Verwendung von Wasser anstelle umweltkritischer Lösungsmittel oder der vollständige Verzicht auf umweltkritische und -gefährdende Stoffe in der (Elektroden)Produktion angestrebt, womit auch Kosten reduziert werden können. Nur ökonomisch wie ökologisch sinnvolle Ansätze sollten mit zielgerichteter Forschung und Entwicklung vorangebracht werden. Unter anderem dazu erfolgen in bestehenden Batteriekompetenzclustern Arbeiten, sowohl zu flüssig-elektrolytbasierten als auch zu festelektrolytbasierten Batteriezellen. Der Einfluss von Produktionsprozessen und -routen auf Batteriezelleigenschaften sowie Produktgestehungskosten wird untersucht. Auch wird die wissenschaftliche Basis für eine leistungsstarke und nachhaltige industrielle Batteriezellproduktion im Sinne einer zirkulären Wirtschaft erarbeitet. Die

17 <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ff34ea21-ee55-11ea-991b-01aa75ed71a1/language-de>

Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen und außer-europäischen Lieferketten bei Materialien und Komponenten wird gesenkt und damit ein wesentlicher Beitrag zur Erreichung der Zielstellung des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung in diesem hoch-kompetitiven Umfeld geleistet.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Materialsynthese und -prozessierung dazu führen, dass:

- die Hochskalierung (Proof of Concept) mindestens eines kobalt- und nickelfreien Kathodenmaterials **für Lithium-Ionen-Batterien** in einen industrie-relevanten Maßstab (Kilogramm) gelungen und der Proof of Concept des Materialsystems auf Zelllevel (TRL 4) erbracht wurde;
- die Hochskalierung mindestens eines aussichts-reichen Anodenmaterials (Kilogramm) für **Lithium-Ionen-Batterien** in einen industrie-relevanten Maßstab (Kilogramm) gelungen und der Proof of Concept des Materialsystems auf Zelllevel (TRL 4) erbracht wurde;
- die Hochskalierung mindestens jeweils eines aus-sichtsreichen Separators, Binders und Elektrolyt-systems und der Proof of Concept des Material-systems auf Zelllevel (TRL 4) erbracht wurde;
- die **Hochskalierung mindestens eines kobalt- und nickelfreien Kathodenmaterials für Natrium-Ionen-Batterien (NIB) in einem industriell relevanten Maßstab** demonstriert wurde;
- die **Hochskalierung mindestens eines kohlenstoff-basierten/nachhaltigen/kostengünstigen Anoden-materials für NIB in einem industriell relevanten Maßstab** demonstriert wurde.

Dabei sollen die Kennzahlen der resultierenden Batteriezellen zu aktuellen Batteriekonzepten (LFP und/oder NMC) hinsichtlich Kosten, Leistungs- oder Energiedichte kompetitiv sein.

## 1.2 Maßgeschneiderte Messtechnik, Analytik und Qualitätssicherungsmaßnahmen für eine innovative Batteriezellproduktion

Für eine leistungsstarke und nachhaltige Batteriezellproduktion ist ein perfekt aufeinander abgestimmtes System aus Materialien und Prozessen entscheidend. Der Aufbau eines umfassenden Verständnisses der Materialeigenschaften, des Materialverhaltens und des Einflusses von Produktionsprozessen und -parametern auf die Leistungsfähigkeit von Batteriezellen ist essenziell für eine wettbewerbsfähige Batteriezellproduktion. Um eine deutliche Reduktion des Produktionsausschusses und des Energiebedarfs bei der Batterieherstellung bei gleichzeitig erhöhter Produktqualität zu erreichen, sind maßgeschneiderte Analysemethoden, Messtechniken und Digitalisierungsansätze erforderlich. Die Ausschussrate gegenwärtiger Batteriezellproduktionen liegt je nach Zelltyp und -hersteller zwischen 5 Prozent und 30 Prozent<sup>18,19</sup> und bietet damit ein signifikantes Optimierungspotential. Für die Etablierung innovativer, technologisch souveräner Batteriezellproduktionen ist es wichtig, Analyseverfahren auf Material- und Zellebene zu entwickeln und weiter zu denken.

Mithilfe geeigneter in-line-Qualitätskontrollen kann während des Produktionsprozesses die Messung von Produkteigenschaften entlang der Prozesskette gewährleistet werden. Werden beispielsweise Fehler-toleranzen überschritten, kann so frühzeitig gegen-gesteuert werden. Auch müssen prozessübergreifend Eigenschafts-Struktur-Beziehungen zwischen Materialfehlern und den späteren Zelleigenschaften ermittelt werden, um Kriterien für die Qualitäts-sicherung in der Batteriezellproduktion zu definieren. Die Erarbeitung entsprechender Methoden, Strategien und Standards parallel zur Entwicklung maß-geschneiderter Messtechnik erfolgt unter anderem durch die Batteriekompetenzcluster. Die Entwicklung und Anwendung maßgeschneiderter Messtechnik und Analytik zur Qualitätssicherung und Ausschuss-reduktion in der Batteriezellproduktion wird auch künftig ein Kernthema des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung sein.

<sup>18</sup> L. Gaines, Q. Dai, J. T. Vaughey, S. Gillard, Recycling 2021, 6, 31.

<sup>19</sup> L. Brückner, J. Frank, T. Elwert, Metals 2020, 10, 1107.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen zur Weiterentwicklung von Messtechnik, Analytik und Qualitätssicherung dazu führen, dass:

- im Zusammenspiel mit anderen Maßnahmen eine **Reduktion des Ausschusses** in der Batteriezellproduktion standardgemäß auf **unter 10 Prozent möglich** ist;
- **neue in-line-Qualitätskontrollen** von Produktionsmerkmalen für mindestens einen Prozessschritt der Batteriezellproduktion **kommerziell verfügbar** sind;
- mindestens ein **Start-Up** im Bereich der **Messtechnik und Analytik** gegründet wurde;
- aus den Eigenschafts-Struktur-Beziehungen zwischen Materialfehlern und den Zelleigenschaften für mindestens **einen Prozessschritt** der Batteriezellproduktion **Fehlertoleranzen** abgeleitet und **Qualitätssicherungsmaßnahmen** entwickelt wurden und Eingang in die Praxis gefunden haben.

### 1.3 Batterieproduktionsforschung: innovative Batterieproduktionslösungen

Intelligente und nachhaltige Fertigungsprozesse und -technologien sind wesentliche Stellschrauben zur Kostenreduktion bei Batterien, sowohl in der Elektromobilität als auch bei der stationären Speicherung von Energie. Gerade eine hohe Energieeffizienz über alle Fertigungsschritte gewinnt bei der Herstellung von Batteriezellen zunehmend an Bedeutung. Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau punktet hier durch seine starke Spezialisierungsfähigkeit und bringt Erfahrungen aus anderen Industriefeldern sowie eigene Digitalisierungsansätze (Industrie 4.0) mit. Asiatische Unternehmen profitieren noch von der langjährigen Ausrüstung von Fabriken für die Produktion von Consumer-Batterien. Die Anforderungen an die Produktion von großformatigen Batteriezellen für den Einsatz in der Elektromobilität oder auch im stationären Bereich sind jedoch auch für sie hoch<sup>20</sup>. Dem muss sich der deutsche Maschinen- und Anlagenbau stellen und eigenständige Lösungen erarbeiten, besonders im Spannungsfeld zwischen Flexibilität, Qualität, Preis, Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und Leistungsfähigkeit der Elektroden und

Batteriezellen. Der Wandlungsdruck auf die Industrie ist groß, bietet aber auch Chancen.

Unterstützung kommt von den Forschungseinrichtungen und Hochschulen, die ihre Forschungsergebnisse in die industrielle Anwendung transferieren und gemeinsam mit Unternehmen in nachhaltigen Wertschöpfungsnetzwerken agieren. Insbesondere bei neuen Materialien und Prozessen sind Produzierbarkeit und Serienreife entscheidend für den Erfolg: Der Maschinen- und Anlagenbau muss deshalb frühzeitig in die Entwicklung neuer Batteriekonzepte, vor allem aber bei neuen Materialansätzen, Fertigungstechnologien und Zelldesignentscheidungen, einbezogen werden. Eine nachhaltige Stärkung des Maschinen- und Anlagenbaus sowie die Fortentwicklung von Verfahren und Anlagen hin zur kreislauffähigen Fertigung wird so möglich.

Einen Schwerpunkt bei der Förderung setzt das BMBF-Dachkonzept Batterieforschung daher bei der forschungsseitigen Unterstützung des Aufbaus einer effizienten und nachhaltigen Batteriezellproduktion mit geschlossenen Materialkreisläufen. Dabei wird der Blick auch auf nachkommende Batteriegenerationen gerichtet. Akteurinnen und Akteure sollen gezielt miteinander vernetzt, Allianzen geschaffen und Synergien gehoben werden. Der Weg für europäische Traktionsbatterien, produziert in Giga-Factories mit deutscher und europäischer Ausstattung, wird so bereitet. Spill-Over-Effekte sind für Batterien für stationäre Speicher und weitere Anwendungen zu erwarten. Sowohl die Entwicklung als auch der Nachweis einer sogenannten Linientauglichkeit für innovative Anlagen- und Maschinenkomponenten können zum Beispiel an der Forschungsfertigung Batteriezele (FFB) erfolgen.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen zur systemischen Batterieproduktionsforschung dazu führen, dass:

- für mindestens zwei Prozessschritte **innovative Maschinen- und Anlagentechniken „Made in Germany“** entwickelt und bis TRL 6 umgesetzt wurden;
- ein **digitales Tool zur Simulation von Batteriematerialien, -prozessen und -zellen** erfolgreich entwickelt wurde.

20 VDMA Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030, Update 2020

Bis 2030 sollen die Maßnahmen zur systemischen Batterieproduktionsforschung dazu führen, dass:

- mindestens eine moderne **Batteriezellproduktion im Giga-Factory-Maßstab mit europäischen Maschinen und Anlagen** – überwiegend aus Deutschland – ausgestattet ist;

- mindestens in einer Batteriezellfertigung die Batteriezellproduktion und das Recycling des Produktionsausschusses erfolgreich zu einem geschlossenen Materialkreislauf miteinander kombiniert und im industrienahen Maßstab umgesetzt wurden.

## Handlungsfeld 2: Skalierungsforschung und Digitalisierung – Schlüssel für eine wettbewerbsfähige Batterieproduktion in Deutschland

---

**Themen: Nutzung digitaler Methoden mit dem Ziel des „gemeinsamen digitalen Prozess-Lernens“ und Ausbau der Skalierungsforschung**

### 2.1 Komplettierung der Innovationspipeline durch Skalierungsforschung

Eine zentrale Herausforderung der anwendungsorientierten Batterieforschung ist die Überführung von Batterietechnologien aus TRL 6 in die massentaugliche Serienproduktion (TRL 9). Bei der erfolgreichen Fortentwicklung ab TRL 6 spielt die Skalierungsforschung mit Pilotlinien als wichtigstes Instrument eine entscheidende Rolle. Die Skalierung von Synthese- und Herstellungsprozessen hat einen direkten Einfluss auf die Struktur der Materialien, Komponenten und Produkte sowie deren Eigenschaften und erfordert, erprobte Ansätze aus dem Labor teilweise völlig neu zu denken. Das bedingt für Unternehmen hohe Einstiegshürden, um neue Technologien in den Markt zu bringen. Wettbewerber aus anderen Weltregionen hingegen können hier auf Erfahrungen aus der Massenproduktion ähnlicher Produkte, beziehungsweise aus vergleichbaren Produktionsverfahren, aufbauen. Grundsätzlich kann auch der deutsche Maschinen- und Anlagenbau bereits heute die gesamte Produktionskette Batterie abbilden. Alle Produktionsschritte zur Herstellung von Batteriematerialien und -zellen können mit Maschinen und Anlagen sowie der notwendigen Automatisierungstechnik von deutschen Firmen aufgebaut werden. Im Gegensatz zum asiatischen Markt gibt es in Deutschland allerdings keine Firmen, die mit eigener Anlagentechnik als Generalunternehmer zum Aufbau kompletter Produktionslinien und -fabriken auftreten (können). Zudem fehlt es meist an Knowhow und praktischer Erfahrung aus dem Dauerbetrieb von Batteriezellproduktionen. Dies gilt insbesondere auch bei Festkörperbatterien. Hier

gilt es, gezielt Abhilfe zu schaffen und den deutschen Maschinen- und Anlagenbau bei den laufenden Transformationsprozessen zu unterstützen, um nicht den Anschluss zu verlieren.

Eine Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit von Materialsynthese- und Zellfertigungsprozessen durch deren Skalierung zu validieren, bieten die bereits erwähnten Pilotlinien. Bereits seit rund zehn Jahren unterstützt das BMBF den Aufbau von Forschungspilotlinien für Batteriezellen an mehreren Forschungseinrichtungen. Daran anknüpfend und als letztes Glied der Innovationspipeline wird die Forschungsfertigung Batteriezzelle (FFB) in Münster künftig Technologien mit hohem TRL in einer industriellen Fertigungsumgebung – in Zusammenarbeit mit anderen Zellproduktionseinrichtungen in Deutschland – validieren. Dabei wird die FFB eine Doppelfunktion als Forschende und Enablerin zugleich einnehmen. Sie ist ein neues Instrument der deutschen und europäischen Innovationslandschaft und weltweit einzigartig: Während viele außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit ihren Pilotlinien bei TRL 5 – 6 den Tätigkeitsschwerpunkt setzen, deckt die FFB die Bandbreite TRL 5 – 8 ab. Dabei wird die FFB so flexibel ausgestaltet, dass sie auf aktuelle Technologie- und Marktentwicklungen sowie die resultierenden Erfordernisse schnell und auf höchstem wissenschaftlich-technischen Niveau reagieren kann. Das BMBF begleitet diesen Technologie-Monitoring- und Anpassungsprozess eng.

Die FFB zeichnet sich durch ein starkes, anwendungsorientiertes Leistungsspektrum aus. Zum einen wird die FFB als Technologieanbieterin für bestehende und kommende Batteriefabriken (bewusst auch Giga-Factories) wirken. Neue Produktions- und Prozesstechnologien werden bis TRL 8 mit der Industrie entwickelt



und angeboten; eine Innovationsplattform für die entstehende technologisch souveräne und zukunftsfähige industrielle Batterieproduktion wird so geschaffen. Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus können mit der FFB ihre spezifischen Technologien weiterentwickeln und sich als Ausstatter für die Batterieproduktionen von morgen qualifizieren. Zum anderen stellt die FFB eine Plattform für die Ausbildung von Fachkräften, das Training von Mitarbeitenden und für technologische Beratung dar. Gleichzeitig wird die FFB, im Zusammenspiel mit weiteren Akteurinnen und Akteuren der Forschung in Deutschland, als Pionierin und Entwicklerin neuer Batteriezellgenerationen (unter anderem Natrium-Ionen-Batterie) fungieren und Erkenntnisse aus der Innovationspipeline auf ein neues TRL-Niveau heben. Als Start-Up-Hub können junge Unternehmen ihre Technologien in der FFB in industrienahem Umfeld qualifizieren und validieren. Die FFB wirkt so als Beschleunigerin, diese Technologien in den Markt zu bringen, und stabilisiert neue Unternehmen in der Anfangsphase.

Eine übergeordnete Funktion der FFB besteht außerdem darin, das umfassende Knowhow und geistige Eigentum des Batterieforschungsstandorts Deutschland für die heimische und europäische Industrie besser zugänglich zu machen – als direkter Beitrag für den Aufbau einer technologisch souveränen, nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Batteriewertschöpfungskette in und für Deutschland und Europa. Neben der Weiterentwicklung der Prozesstechnologie bietet die FFB Maschinen- und Anlagenbauern die Möglichkeit, Maschinen an die Erfordernisse neuer Batterietechnologien anzupassen und deren Leistungsfähigkeit in einer industriellen Umgebung als Use-Case zu demonstrieren. Durch die Integration in eine digitale Umgebung kann der Nachweis einer Produktionslinienfähigkeit erbracht werden.

Insgesamt bieten die deutschen Pilot- und Forschungsproduktionslinien umfassende Möglichkeiten, neue technologische Ansätze zu validieren und den Transfer von Forschungsergebnissen in die industrielle Praxis nicht nur grundsätzlich zu ermöglichen, sondern auch deutlich zu beschleunigen. Deshalb werden sie – sowie ihre Vernetzung untereinander und mit den Beteiligten des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung – künftig stärker im Fokus der Förderung stehen. Sie sollen die deutsche Batterieindustrie und ihr Ökosystem dabei unterstützen, die notwendigen Materialien,

Prozesse und Maschinen sowie Produktionsanlagen für kommende Batterietechnologien erfolgreich am Markt zu etablieren. Dabei sollen sie bewusst nicht nur lokal, sondern auf gesamtdeutscher Ebene gemeinsam mit allen Akteurinnen und Akteuren wirken. Hierzu zählen auch Zulieferer, die Materialien, Komponenten und Produkte für den Markt der Lithium-Ionen-Batterien entwickeln und bereits wettbewerbsfähig in großskaligem Maßstab anbieten. Auch für sie ist der Innovationsdruck hoch, nicht zuletzt um nachhaltiger zu werden und wettbewerbsfähig zu bleiben.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Bereich der Skalierungsforschung dazu führen, dass:

- durch innovative Produktionsprozesse der **Energiebedarf und das CO<sub>2</sub>-Äquivalent** verlässlich quantifiziert und um **mindestens 10 Prozent reduziert** wurden;
- die **Produktion einer wiederaufladbaren Festkörperbatteriezelle sowie Natrium-Ionen-Batteriezelle** auf mindestens einer Forschungsproduktionsanlage erfolgreich demonstriert wurde;
- der Grad der **Drop-In-Fähigkeit der Natrium-Ionen-Batterietechnologie** bestimmt wurde;
- für mindestens eine etablierte Entwicklungsrouten vom Material bis zur großformatigen Batteriezelle ein **Hochdurchsatzlabor und -produktionssystem** zur Realisierung beschleunigter Entwicklungszyklen entwickelt wurde.

Bis 2030 sollen die Maßnahmen im Bereich der Skalierungsforschung dazu führen, dass:

- die **Hochskalierung mindestens eines kobalt- und nickelfreien Kathodenmaterials** für Lithium-Ionen-Batterien sowie Natrium-Ionen-Batterien in einem industrierelevanten Maßstab (circa 100 Kilogramm) erfolgreich demonstriert wurde. Dabei soll der Nachweis der Produzierbarkeit des Materialsystems in einem industrierelevantem Zellformat (TRL 6 – 8) erbracht worden sein;
- die **Serientauglichkeit mindestens einer wiederaufladbaren, zu Lithium alternativen Batterietechnologie** auf mindestens einer Forschungsproduktionsanlage erfolgreich demonstriert wurde.

## 2.2 Digitalisierung der Batterieforschung, -entwicklung und -produktion

Moderne Methoden der Digitalisierung, wie unter anderem Quantenchemie, Big-Data und unterschiedliche Anwendungen künstlicher Intelligenz, können einen substanziellen Beitrag zur Ressourcenschonung und Optimierung von Batteriezellen an fast allen Abschnitten der Wertschöpfungskette Batterie leisten. Traditionell basieren Batterie- und Elektrodenmaterialien auf iterativ optimierten Syntheserouten und empirisch bewährten Prozessen. Auch Rezepturen zur Elektrodenherstellung und die Ermittlung optimaler Betriebsparameter für einzelne Prozessschritte der Batteriezellproduktion werden in der Regel durch aufwändige Serienversuche ermittelt. Die digitale Verknüpfung von Material-, Prozess- und Zelleigenschaften ermöglicht Vorhersagen zur Qualität und Leistungsfähigkeit etablierter und zukünftiger Materialien und Prozesse. So werden sich künftig beispielsweise Materialsynthesen oder Produktions- und Prozessparameter mit weniger aufwändigen Versuchsreihen und teils ganz ohne Labortests optimieren und Fehlertoleranzen vorhersagen lassen. Mit Hilfe geeigneter in-line-Qualitätskontrollen während der Prozessierung kann über digitalisierte Prozesssteuerung die Qualität von Batteriematerialien, -komponenten und -zellen bei beschleunigter Prozessführung erhöht und der Ausschuss deutlich reduziert werden (vgl. Kapitel 1.2).

Die Digitalisierung der Materialforschung soll daher weiter gestärkt werden, um sowohl die Eigenschaften etablierter Batteriematerialien zu verbessern als auch die Möglichkeiten zu schaffen, neue Batteriematerialien im digitalen Labor zu erproben und zu vergleichen. Hierzu ist eine Harmonisierung und später Standardisierung der Messmethoden anzustreben, um die Vergleichbarkeit von Messergebnissen zu erhöhen und sie besser für komplexe Modellierungen nutzbar zu machen. Ebenso sollen digitale Prozesskettenmodelle entwickelt werden, mit denen die Auswirkungen von Schwankungen einzelner Prozessschritte auf Folgeprozesse und (Zwischen)Produkteigenschaften besser erfasst, untersucht und Verbesserungen abgeleitet werden können. Weitere Herausforderungen bestehen hinsichtlich der Verfügbarkeit flexibler Produktionssysteme für die Massenproduktion von Batteriezellen. Um diese Systeme zu etablieren, müssen Lösungen der Industrie 4.0, wie agile Anlagentechnik, künstliche Intelligenz in der Produktion und virtuelle

Produktionssysteme, genutzt und weiterentwickelt werden. Neben den Kompetenzclustern wird insbesondere die FFB mit der Modularisierung und Digitalisierung der Batteriewertschöpfungskette wesentlich dazu beitragen, flexible Produktionssysteme „Made in Europe“ als den Stand der Technik zu etablieren.

Über die Integration eines umfassenden Vernetzungs- und Digitalisierungsansatzes adressiert etwa die FFB prozessinduzierte Anpassungen, um Qualitätsstandards unterschiedlicher Zellformate und Batterietypen zu optimieren und Ausschuss weiter zu reduzieren. Als Teil der FFB wird unter anderem ein dreigliedriger digitaler Zwilling entwickelt, bestehend aus dem Produkt-, Anlagen- und Gebäudezwilling. Mit dem digitalen Zwilling wird ein äußerst wertvoller „Datenschatz“ für hiesige Akteurinnen und Akteure im Batteriezell- und -produktionsbereich bereitgestellt. Diese Daten liegen bislang in Deutschland und Europa nicht oder nur unzureichend und isoliert vor – sie sind jedoch für moderne und innovative Technologieentwicklungen und Geschäftsmodelle rund um Batterien von zentraler Bedeutung.

Die vollständige Digitalisierung der Material- und Batteriezellproduktion wird auch die Rückführung von Überschuss- und Recyclingmaterial in die Produktionsprozesse verbessern und die Nachhaltigkeit europäischer Giga-Factories stärken. Ebenso wird mit der Digitalisierung der Batteriezellproduktion die Voraussetzung für die Einführung eines notwendigen europa- oder weltweiten Batteriepasses geschaffen. Eine Verstärkung der Aktivitäten zur Digitalisierung der Material- und Batteriezellproduktion wird daher maßnahmenübergreifend innerhalb dieses Dachkonzepts verankert.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Kontext der Digitalisierung dazu führen, dass:

- im Zusammenspiel mit anderen Maßnahmen eine Reduktion des Ausschusses in der Batteriezellproduktion standardgemäß auf unter 10 Prozent möglich ist;
- **Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Äquivalent** in der Zellproduktion verlässlich **quantifiziert und um mindestens 10 Prozent** reduziert wurden;

- eine zuverlässige **Vorhersage der Leistungsfähigkeit von Batteriezellen** durch digitale Modelle möglich ist;
- ein **digitales Tool zur Simulation der Batteriezellproduktion** erfolgreich entwickelt wurde;
- die **virtuelle Abbildung von Produktionsprozessen** anhand von zehn Beispielen erfolgt ist;
- die **virtuelle Abbildung des Produkts** (Digitaler Zwilling, Batteriepass) vollständig möglich ist;
- eine **beschleunigte Inbetriebnahme** etablierter Produktionsanlagen durch **Kopplung von Maschinen- und Prozessmodellen** möglich ist und dadurch eine Reduktion von mindestens 25 Prozent der heutigen Inbetriebnahmedauer realisiert wurde.

Bis 2030 sollen die Maßnahmen im Bereich der Digitalisierung dazu führen, dass:

- ein Beitrag zur **Reduktion des Ausschusses in der Batteriezellproduktion** auf in Summe unter 5 Prozent erreicht wurde.

## Handlungsfeld 3: Ressourcenschonende Batteriekreisläufe – nachhaltige Zukunft und Rohstoffsicherung

**Themen: Durch Kreislaufwirtschaft und Zweitnutzung zu ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Batteriesystemen**

### 3.1 Innovative Recycling-Konzepte für nachhaltige Batteriesysteme und eine sichere Rohstoffbasis

Die Entwicklungen von Konzepten und Prozessen für eine umfassende Batterie-Kreislaufwirtschaft sind essenzielle Bausteine auf dem Weg in eine nachhaltige und resiliente Batteriezellproduktion in Europa. In den nächsten Jahren ist ein deutlich und stetig wachsender Rücklauf an Altbatterien zu erwarten. Aktuell ist die Rückgewinnung der Materialien allerdings vergleichsweise energie- und kostenintensiv und daher (noch) nicht wirtschaftlich. Zudem sind die Qualitätsansprüche an diese Sekundärmaterialien für eine erneute Verwendung in der Zellproduktion derzeit unklar. Gleichzeitig stellen die rücklaufenden Batterien eine zentrale und kritische Materialreserve – nicht nur, aber gerade auch – für das europäische Batterie-ökosystem und seine (kommenden) Giga-Factories dar. Auch haben Sekundärmaterialien zumeist einen deutlich geringeren ökologischen Fußabdruck, verglichen mit Primärmaterialien, und sind damit ein wichtiger Hebel für ökologische Nachhaltigkeit.

Die Entwicklung smarterer und effizienter Recyclingprozesse wird daher zum Erfolgsfaktor. Dies beginnt bei der Automatisierung der Demontageprozesse von Batteriepacks, -modulen und -zellen, bedingt aber auch die Etablierung demontagefreundlicher

Batteriekonzepte sowie passender Füge- und Verbindungstechniken. Eine Voraussetzung für ein effizientes Recycling wird daher ein hierfür optimiertes Batterie- und Komponentendesign sein. Zudem sind aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Batterien und Zellchemien variantenflexible Prozesse und intelligente Sortierverfahren notwendig. Digitalisierung von Prozessen – insbesondere der digitale Zwilling von Batteriesystemen – sowie ein digitaler Batteriepass helfen dabei, unterschiedliche Batterietypen dem jeweils richtigen Recyclingverfahren zuzuführen. Nicht zuletzt können nur durch eine entsprechende Skalierbarkeit der Recyclingverfahren die künftig erwarteten Rücklaufmengen bewältigt werden. Der Aufbau entsprechender Pilotlinien in Kooperation mit dem deutschen Maschinen- und Anlagenbau ist diesbezüglich ein entscheidender Baustein.

Die Forschungsfelder Recycling und Kreislaufwirtschaft werden als Beitrag für eine zirkuläre Batteriewirtschaft im Rahmen des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung weiter ausgebaut und die bestehenden Aktivitäten in den Kompetenzclustern ergänzt. Der Forschungsfokus umfasst hierbei den Bereich bis zur Zellebene. Bei neuen Batteriesystemen und -materialien wird das Potential zur Kreislaufwirtschaft von Beginn an mitgedacht, um ein umfassendes Recycling am Ende des Lebenszyklus zu ermöglichen. Neue Batteriekonzepte integrieren direkt Ansätze des „Design for Recycling“ und der Ökobilanzierung („Life Cycle Assessment“). Potentielle Umweltauswirkungen neuer, beziehungsweise neuartiger, Batteriesysteme können hierdurch

besser abgeschätzt werden. Mittel- bis langfristig wird so ein umfassendes Verständnis von Produkt-Prozess-Wechselwirkungen, unter anderem für Rezyklatqualität und Auswirkungen erhöhter Sekundärmaterialanteile auf die Batterieperformance, aufgebaut.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Bereich Recycling und Kreislaufwirtschaft dazu führen, dass:

- die Herstellung konkurrenzfähiger **Batteriezellen auf Basis von Sekundärmaterialien** möglich ist;
- mindestens eine **Forschungsrecyclinglinie** in Deutschland aufgebaut wurde;
- ein **automatisierter Demontageprozess einer Batteriezelle** bis auf Elektrodenenebene erfolgreich demonstriert wurde;
- eine **nahezu vollständige Rohstoffrückgewinnung von Ausschuss** in der Batteriezellproduktion möglich ist;
- eine **Bewertung von Material- und Prozessinnovationen für eine „nachhaltige Batterie“** durch die **Entwicklung multidisziplinärer Lebenszyklenmodelle, -methoden und -werkzeuge** möglich ist.

Bis 2030 sollen die Maßnahmen im Bereich Recycling und Kreislaufwirtschaft dazu führen, dass:

- die **Anzahl der am Batterierecycling beteiligten Unternehmen bei über 40 liegt**;
- durchgehende **Maschinen- und Anlagenlösungen** auch von deutschen Unternehmen angeboten werden;
- die **Rückführung von mindestens 90 Gewichtsprozent der anfallenden End-of-Life-Batteriematerialien – auf Zellebene – in die Batteriezellproduktion** möglich ist;
- die **Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz** in Recycling und Resynthese und die

Nutzung erneuerbarer Energien es ermöglichen, **Batterien aus Sekundärmaterial herzustellen**, die maximal **50 Prozent des Treibhausgaspotentials primär hergestellter Batterien** aufweisen.

### 3.2 Verbesserung von 1st- und 2nd-Life-Anwendungen durch gezieltes Batteriedesign und effiziente Nutzungsstrategien

Zur Verbesserung der Ressourceneffizienz von Batterien existieren vielseitige Strategien und Konzepte. Die EU-Kommission hat diese zu neun sogenannten R-Strategien zusammengefasst, welche einen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft leisten<sup>21</sup>. Beispielsweise können aussortierte Batteriesysteme aus dem sogenannten 1st-Life (der Erstanwendung) selbst bei einer um 20 bis 30 Prozent reduzierten Kapazität weiterhin Einsatz in einer weniger anspruchsvollen 2nd-Life-Anwendung (Zweitnutzung) finden, unter anderem in stationären Batteriespeichern. Diese bekommen in Bezug auf den steigenden Anteil fluktuierender Energiequellen, wie Wind- und Solarenergie, eine immer größere Bedeutung. Von kleinen Heim- oder größeren Notstromsystemen bis hin zu Pufferspeichern zur Entlastung des Stromnetzes können sie sogenannte Smart-Grid-Anwendungen ermöglichen, Stromnetze stabilisieren und Importabhängigkeiten bei fossilen Energieträgern, aber auch beim Strom, senken. Durch den Einsatz von Batteriezellen in einem 2nd-Life wird zudem die Gesamtnutzungsdauer von Batteriesystemen deutlich erhöht, die eingesetzten Batteriezellen nachhaltiger. Auf der anderen Seite beschleunigt die Optimierung bestehender und neuer Materialsysteme für eine 1st-Life-Anwendung als stationärer Energiespeicher direkt den Wandel zu einer ökologisch und ökonomisch nachhaltigeren Energiewirtschaft.

Die Anforderung an die Batterie für eine 2nd-Life-Anwendung ist stark abhängig vom jeweiligen Einsatz. Während für Heimspeicher bereits geringe Energiegehalte von wenigen Kilowattstunden (kWh) und Leistungen von wenigen Kilowatt (kW) ausreichen, sind für Netzspeicher Energiegehalte von mehreren Tausend kWh und Leistungen von mehreren Tausend kW erforderlich. Die Evaluierung verschiedener Nutzungsszenarien für 2nd-Life-Anwendungen unter Einbezug von „Life Cycle Assessment“ und

21 European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Schempp, C., Hirsch, P., Categorisation system for the circular economy : a sector-agnostic categorisation system for activities substantially contributing to the circular economy, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/172128>

Lebenszykluskostenrechnungen („Life Cycle Costing“) schafft eine verlässliche Datenbasis für Forschung und Entwicklung, aber auch für eine ökonomisch-ökologisch differenzierte Analyse. Durch umfassende Alterungsanalysen und Lebensdauerprognosen werden zudem auch sicherheitsrelevante Fragestellungen beantwortet. Digitale Tools, wie Computermodelle und Simulationen, unterstützen dabei, verschiedene Anwendungsszenarien digital abzubilden und Betriebsstrategien zu entwickeln. Die Betriebszeit von Batteriesystemen im 1st-Life wird so optimiert und Handlungsempfehlungen für die Nachnutzung gegeben. Im Idealfall verbleiben intakte Batteriezellen weiter in ihrer Anwendung (Re-Use), werden aussortierte Batteriezellen in einem neuen, weniger anspruchsvollen Anwendungsfeld eingesetzt (Re-Purpose) und defekte Batteriezellen schließlich zerlegt und ihre Materialien und möglicherweise Komponenten in den Ressourcenkreislauf rückgeführt (Recycle, vgl. 3.1). Diese bereits in Teilen der Kompetenzcluster adressierten Themen werden eine Rolle in allen Maßnahmen des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung spielen.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Bereich der 1st- und 2nd-Life-Anwendungen dazu führen, dass:

- die Bewertung des **ökologischen und ökonomischen Nutzens von 2nd-Life-Anwendungen** gegenüber dem direkten Recycling mit einem simulationsgestützten Tool möglich ist;
- anhand von mindestens drei Beispielen eine **Reduktion der „Total Cost of Ownership“ durch 2nd-Life-Anwendungen um bis zu 25 Prozent** demonstriert wurde;
- ein **Verfahren zur Abschätzung, Prognose und Überwachung der Zellebensdauer und -sicherheit** erfolgreich entwickelt wurde;
- **für mindestens drei 2nd-Life-Anwendungen ein spezifisches Anforderungsportfolio für relevante Zellkonzepte** identifiziert wurde.

Bis 2030 sollen die Maßnahmen im Bereich Recycling und Kreislaufwirtschaft dazu führen, dass:

- im **digitalen Zwilling der Batteriezellen und des Batteriespeichers (Batteriepass) alle** für deren Recycling (Demontage) oder 2nd-Life relevanten **Informationen mit aufgelistet werden können.**

## Handlungsfeld 4: Sprung in ein neues Batteriezeitalter – aussichtsreiche Technologievarianten der Zukunft

**Themen: Strategische Fokussierung auf aussichtsreiche Technologievarianten, alternative Batteriezellchemien**

### 4.1 Festkörperbatterien

Der Bereich mobiler Batterieanwendungen – mit dem Automobilsektor als wichtigsten Akteur – wird von Lithium-Ionen-Batterien dominiert. Als vielversprechende Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterie werden Festkörperbatterien gehandelt. Festkörperbatterien können aufgrund ihrer höheren chemischen und thermischen Stabilität und – bei Nutzung einer Lithiummetall-, einer Siliziumanode oder als anodenmaterialfreien Zelle – potentiell höheren Energiedichte deutliche Vorteile für die Elektromobilität im Vergleich zu heutigen Standard-Lithium-Ionen-Batterien bieten, zum Beispiel Verbesserungen bei Sicherheit und Schnellladefähigkeit. Während die Material- und

Prozesstechnologien zur Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien bereits weit entwickelt sind, bedarf es zur erfolgreichen Etablierung von Festkörperbatterien noch erheblicher Forschungsaktivitäten, gerade auch hinsichtlich der Skalierung bei Material- und Zellerstellung. So besteht dringender Forschungsbedarf bei hochwertigen Materialien und ihrer Verfügbarkeit sowie bei auf Festkörperbatterien optimierten Verarbeitungsprozessen und skalierbaren Produktionsverfahren für Materialien, Elektroden und Zellen<sup>22</sup>. Unter anderem innerhalb der Kompetenzcluster wird die wissenschaftliche Basis zur Anwendung und Herstellung von Festkörperbatterien erarbeitet, um eine Basis für die Weiterentwicklung bis zur Marktreife zu schaffen. Dazu unterstützt das BMBF auch den Aufbau entsprechender Forschungsproduktionslinien. Langfristiges Ziel ist es, Festkörperbatterien als Ergänzung

und Alternative zu herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien wettbewerbsfähig zu machen und zu industrialisieren. Dabei ist die Forschung aber nicht nur auf lithiumbasierte Festkörperbatterien beschränkt, weitere Typen wie etwa natriumbasierte Systeme werden ebenso berücksichtigt.

Bis 2026 sollen Maßnahmen im Bereich der Festkörperbatterien dazu führen, dass:

- eine **Forschungsproduktionsanlage** für Festkörperbatteriezellen aufgebaut wurde;
- eine **wiederaufladbare, mehrlagige Zelle mit Festelektrolyten mit mehr als 200 Zyklen** und mit einer **Energiedichte von über 800 Wh/L** entwickelt wurde.

Bis 2030 sollen Maßnahmen im Bereich der Festkörperbatterien dazu führen, dass:

- die skalierbare **Herstellung einer wiederaufladbaren Festkörperbatteriezelle auf mindestens einer Forschungsproduktionsanlage** erfolgreich demonstriert wurde.

## 4.2 Natrium-Ionen-Batterien

Durch begrenzte Lithium-, Kobalt- und Nickelvorkommen und die vorhersehbare Preisentwicklung für Lithium-Ionen-Batteriematerialien ist eine Abdeckung des zukünftigen mobilen und stationären Speicherbedarfs nicht alleine durch lithiumbasierte Technologien möglich<sup>23</sup>. Zu Lithium-Systemen alternative Batteriezellchemien – im Kontext des Dachkonzepts als „alternative (Batterie)Zellchemien“ bezeichnet – müssen daher schnell eine hohe Technologiereife erreichen. Natrium-Ionen-Batterien (NIB) stellen eine aussichtsreiche alternative, beziehungsweise ergänzende, Batteriezelltechnologie für mobile und stationäre Anwendungen dar und rücken, unter anderem angetrieben durch industrielle Aktivitäten<sup>24</sup>, immer mehr in den Fokus von Forschung und Entwicklung. NIB weisen im Vergleich zu anderen alternativen Zellchemien den Vorteil auf, dass aufgrund von Analogien zu Lithium-Ionen-Batteriematerialien voraussichtlich ein Großteil der Verarbeitungs- und Produktionsprozesse aus der

Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion adaptiert werden kann. Eine vergleichsweise simple Anpassung von existierender Batterieproduktionsanlagen für NIB-Konzepte erscheint möglich, sofern bestehende Hürden bei der Entwicklung langzeitstabiler Materialien und Zellen überwunden werden können. Sofern sich NIB mit geringem Aufwand auf aktuellen Produktionslinien herstellen lassen, können sie als sogenannte Drop-In-Technologie schnell in den Massenmarkt Eingang finden, eine breite Marktdurchdringung so vergleichsweise schnell gelingen. Natriumbasierte Batterietechnologien stellen bereits seit 2019 eines der adressierten Forschungsfelder innerhalb der Fördermaßnahmen des BMBF dar, mit dem strategischen Ziel, ihre großskalige Produktionsfähigkeit mittelfristig auf einer Forschungsproduktionsanlage zu demonstrieren. Aufbauend auf dem Erreichten, wird die Forschung zu dieser Technologievariante gezielt gestärkt und ausgebaut.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Bereich der NIB dazu führen, dass:

- die **Hochskalierung mindestens eines kobalt- und nickelfreien Kathodenmaterials für NIB** in einem industriell relevanten Maßstab demonstriert wurde;
- die **Hochskalierung mindestens eines nachhaltigen und kostengünstigen Anodenmaterials für NIB** in einem industriell relevanten Maßstab demonstriert wurde;
- der Grad der Drop-In-Fähigkeit der Natrium-Ionen-Batterietechnologie bestimmt wurde.

Bis 2030 sollen die Maßnahmen im Bereich der NIB dazu führen, dass:

- eine **Lebensdauer für NIB von mindestens 3.500 Zyklen** erreicht wurde;
- eine **Energiedichte für großformatige NIB von über 190 Wh/kg standardgemäß** erreicht wurde;
- die **Produktion einer wiederaufladbaren NIB auf mindestens einer Forschungsproduktionsanlage** erfolgreich demonstriert wurde.

<sup>23</sup> Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030, 2015

<sup>24</sup> <https://www.catl.com/en/news/665.html>

### 4.3 Alternative, zukünftige Batterietechnologien

Weitere alternative, lithiumfreie Kandidaten für die elektrochemische Energiespeicherung sind beispielsweise auf Zink, Aluminium, Eisen, Calcium und Magnesium basierende Systeme. Sie sind – wie auch Natrium – wesentlich häufiger in der Erdkruste vorhanden als Lithium<sup>25</sup>. Zur Anwendung in einer Batterie besteht bei diesen Technologien noch wesentlich mehr Forschungsbedarf als bei den zuvor diskutierten Technologien (4.1 und 4.2). Nach aktuellen Erkenntnissen eignen sich die meisten dieser Batteriematerialien aufgrund ihrer im Vergleich zu lithiumbasierten Systemen geringeren Energiedichte eher für die Anwendung als kostengünstige und umweltfreundliche stationäre Batteriespeicher. Weitere Anwendungspotentiale, insbesondere im Bereich der Elektromobilität, können aber mit Fortentwicklung der jeweiligen Technologievariante gehoben werden. Im Rahmen nationaler als auch internationaler Fördermaßnahmen des BMBF wird bereits seit 2015 ein breites Spektrum alternativer Batterietechnologien erforscht. Diese lithiumfreien Batterietechnologien leisten künftig einen eigenen Beitrag, um die Klimaziele der Bundesregierung und der EU zu erreichen (vgl. unter anderem European Green Deal) und unsere technologische Souveränität langfristig zu sichern. Die breite Betrachtung alternativer Zellchemien wird daher weiterhin fester Bestandteil des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung

sein. Dabei muss ein hohes Maß an Flexibilität erhalten bleiben, um adäquat auf neueste Entwicklungen reagieren und aufkommende Trends antizipieren zu können. Forschung an und Weiterentwicklung von aussichtsreichen Technologievarianten werden über die Innovationspipeline effizient beschleunigt.

Bis 2026 sollen Maßnahmen im Bereich der alternativen, zukünftigen Batterietechnologien dazu führen, dass:

- der **TRL einer weiteren alternativen Batterietechnologie** auf **6 – 7** gehoben worden ist;
- eine **Lebensdauer für eine weitere alternative Batterietechnologie von mindestens 1.000 Zyklen** erreicht wurde;
- **mindestens ein Start-Up im Feld alternativer Batterietechnologien** gegründet wurde.

Bis 2030 sollen die Maßnahmen im Bereich der alternativen, zukünftigen Batterietechnologien dazu führen, dass:

- die **Produktion mindestens einer wiederaufladbaren alternativen Batterietechnologie auf mindestens einer Forschungsproduktionsanlage erfolgreich demonstriert** worden ist.

## Handlungsfeld 5: Das Batterie(forschungs)ökosystem weiterentwickeln – Strukturen für Exzellenz, Innovation und Transfer ausbauen

### Themen: Das Batterie(forschungs)ökosystem mit der Schaffung neuer Innovationskaskaden ausbauen, Zusammenarbeit führender Batteriestandorte und Förderung von Nachwuchs und Forschungsexzellenz

Im Feld der Batterieforschung und -entwicklung bestehen in Deutschland etablierte Innovationskaskaden – von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung bis zum Transfer in die Anwendung –, die Wissenschaft und Wirtschaft miteinander vernetzen. Es bedarf dennoch der Erweiterung funktionierender und der Schaffung neuer Innovationskaskaden mit neuen, ergänzenden Partnern und Kooperationen, auch im Kontext der internationalen Vernetzung. Deshalb werden

Forschungsaktivitäten weiterhin internationale Aspekte beinhalten und europäische Maßnahmen, wie zum Beispiel die Batterie-IPCEIs, synergetisch unterstützt. Als eine Stärke des deutschen Batterieökosystems wird die Skalierungsforschung gestärkt und besser sichtbar werden. Die deutsche Forschungsinfrastruktur für dieses Feld ist durch eine Reihe herausragender Köpfe, Exzellenzzentren, Forschungspilotlinien und mit der FFB als Schlussstein des Innovationstransfers ausgezeichnet aufgestellt und weltweit mit führend. Es gilt, dieses Potential zu nutzen, bestehende Exzellenz weiter zu fördern und neues Knowhow zu schaffen, um die Entwicklung hin zur Technologieführerschaft im Bereich der Batterie erfolgreich fortzusetzen.

25 Erwin Riedel, Christoph Janiak, Anorganische Chemie, De Gruyter; 10. Edition, 2022

### 5.1 Schaffen eines souveränen Batterieökosystems durch den Ausbau der Batterieforschung (TRL 1 – 6) für die Innovationen von morgen

Alle Entwicklungsstufen der Batterieforschung, von innovativen, grundlegenden Konzepten bis hin zur Skalierungsforschung, sollen auch künftig entlang der gesamten Batteriewertschöpfungskette abgedeckt werden. Damit verbunden ist der zielorientierte Ausbau von Forschungsaktivitäten von der Grundlagenforschung (TRL 1) bis hin zur Technologiedemonstration (TRL 6), um so Innovationskaskaden für neue Technologieansätze zu schaffen und bestehende zu stärken und zu optimieren. Um die technologische Souveränität Deutschlands im Bereich der Batterietechnologien zu sichern, werden auch künftig thematische Batteriekompetenzcluster und institutionelle Verbundprojekte eine zentrale Rolle dabei spielen, die Innovationspipeline des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung durchgängig gefüllt zu halten. Darüber hinaus werden verbesserte Experimentierbedingungen für Nachwuchsgruppen und Forschungseinrichtungen vom Labor bis zum Technikum, beispielsweise im Rahmen von Infrastrukturprojekten, geschaffen, sodass aktuelle Herausforderungen bewältigt und industrierelevante Bedarfe adressiert werden können. Industriegeführte Verbundprojekte mit unterschiedlichen Schwerpunkten bei Forschung und Entwicklung knüpfen daran an, um die Innovationssouveränität entlang aller Entwicklungsstufen zu steigern. So sollen mithilfe innovativer Batterietechnologien neue Lösungen für Markt und Gesellschaft gefunden und umgesetzt werden<sup>26</sup>.

Erfolgreiche Forschungsaktivitäten, wie die Kompetenzcluster, werden als zentraler Teil des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung fortgesetzt, um Batteriekompetenzen in Wissenschaft und Industrie auszubauen. Dabei bleibt das Instrument Kompetenzcluster anpassungsfähig und kann auf Technologiesprünge reagieren. Eine Vervielfachung der Lehr-, Lern- und Ausbildungsplätze, zum Beispiel durch die Schaffung anwendungsorientierter Batterieakademien, ist ein weiteres Ziel der Maßnahmen des BMBF. Weiterführende Förderinitiativen folgen, um neue und flexible Möglichkeiten zu schaffen, Batterietechnologien mit verschiedenen Reifegraden aufzugreifen, weiterzuentwickeln und den Transfer in die Anwendung zu beschleunigen. Ziel ist es, die

Innovationssouveränität Deutschlands zu steigern und langfristig zu erhalten. Ergebnisse beendeter Vorlauforschung sollen auf Initiative und unter Federführung eines Industrieunternehmens, beziehungsweise des späteren Anwenders, aufgegriffen und fortentwickelt werden. Alle Maßnahmen werden die deutsche und europäische Wirtschaft dazu befähigen, aus eigener Kraft ökonomisch und ökologisch erfolgreich und souverän agieren zu können und Arbeitsplätze zu sichern.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Bereich des Ausbaus der Batterieforschung dazu führen, dass:

- der **Transfer innovativer Ansätze aus den Batteriekompetenzclustern erfolgreich verstetigt** wurde und eine **starke Interaktion** zwischen den unterschiedlichen Clustern besteht;
- mindestens zehn **neue „Batterienachwuchsgruppen“** gebildet wurden;
- der globale **Publikationsanteil Deutschlands von 1/20 auf mindestens 1/15** erhöht wurde und
- der globale **Patentanteil gleichzeitig mindestens 15 Prozent** beträgt;
- ein Portfolio (digital) **vernetzter Forschungs- und Skalierungsinfrastrukturen mit den Forschungsproduktionslinien** als Herzstück entstanden ist und die Batteriezellproduktionsforschung in Deutschland auf Exzellenzniveau voranbringt.

### 5.2 Schaffen neuer und erleichterter Pfade zum beschleunigten Transfer von Projektergebnissen der Batterieforschung in die industrielle Umsetzung

Die Forschungsaktivitäten an neuen Batteriesystemen (vgl. Kapitel 4) führen zu Innovationen, die aus dem Labormaßstab bis zur Technologiedemonstration entwickelt und in Richtung Serienproduktion transferiert werden müssen. Dieser Transfer wird durch gezielte Fördermaßnahmen, aber auch durch eine Start-Up-Förderung, beschleunigt. Im Rahmen des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung werden bestehende Möglichkeiten ergänzt und erweitert. Ein Technologietransfer ausgehend von Verbundprojekten erfolgt vor allem durch die Ergebnisnutzung der beteiligten

<sup>26</sup> Technologiesouveränität: Von der Forderung zum Konzept, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Juli 2020



Unternehmen. Dies ist mit der Schaffung neuer und Sicherung bestehender Märkte sowie Arbeitsplätze verbunden. Unternehmen und Forschungseinrichtungen gewinnen durch den Technologietransfer weiteres Knowhow, das für die Steigerung der Konkurrenzfähigkeit und die eigene Portfolioerweiterung künftig von wachsender Bedeutung ist. Wissenschaftseinrichtungen werden bei der Veröffentlichung von Projektergebnissen, unter anderem in Form von Fachpublikationen, unterstützt. Auch werden Gründungen von Start-Ups, etwa aus der Akademie, begünstigt. Eine Förderung der Vorbereitungs-, beziehungsweise Gründungsphase von Start-Ups wird darauf abzielen, die bestehende Forschungsinfrastruktur besser nutzen zu können. Hierbei sollen Start-Ups auch die Möglichkeit erhalten, den nötigen Proof-of-Concept an den unterschiedlichen Forschungspilotanlagen zu erbringen. Zudem werden die Entwicklung von Geschäftsplänen und der Aufbau spezifischen Knowhows gezielt unterstützt. Darüber hinaus werden Vernetzungsformate für Wissenschaft und Industrie gestärkt.

Zusätzlich werden neue Pfade für einen effizienten Transfer von Forschungsergebnissen in die industrielle Anwendung etabliert. Zum einen werden die Möglichkeiten verbessert, dass Batterietechnologien, deren Vorlaufforschung abgeschlossen wurde, von der Industrie aufgegriffen und bedarfs- sowie anwendungsorientiert weiter entwickelt werden können. Die Batteriekompetenzcluster werden hierbei eine zentrale Rolle spielen, der Transferpfad zeitlich flexibel und technologieoffen angelegt. Zum anderen sollen Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung in Qualifizierungsmaßnahmen und -angebote für Fachkräfte aus der Wirtschaft fließen, beispielsweise im Rahmen von Lernfabriken und Batterieakademien. Außerdem werden bestehende Schnittstellen zwischen einzelnen Initiativen und Fördermaßnahmen des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung erweitert sowie neue Schnittstellen geschaffen. Die gemeinsame Bearbeitung übergreifender Themenbereiche im Rahmen von Crossover-Projekten und unter Bündelung übergreifender Entwicklungskompetenzen von Wissenschaft und Industrie wird stärker stimuliert und so ein beschleunigter Transfer der Ergebnisse innerhalb der Innovationspipeline des BMBF-Dachkonzepts erzielt.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Bereich des Transfers dazu führen, dass:

- eine erfolgreiche industrielle **Anbindung der Kompetenzcluster an die Industrie** erfolgt ist;
- die **Bildung von Start-Ups erleichtert** und forciert sowie ihre **Einbindung in das Batterie(forschungs)ökosystem** verbessert wurde;
- durch Nutzung der Elemente und Module des Clusterkonzepts **mindestens fünf Forschungskonzepte erfolgreich** in Richtung **industrieller Anwendungen transferiert** (TRL höher 6) wurden.

### 5.3 Europäische und internationale Vernetzung – die Zusammenarbeit mit führenden Batteriestandorten ausbauen

Die Batterietechnologie hat nicht zuletzt aufgrund des aktuell und langfristig hohen Bedarfs an bedarfspezifisch optimierten Batterien für mobile und stationäre Anwendungen und des daraus resultierenden Hochlaufs der Produktionskapazitäten an Bedeutung gewonnen. Die besondere Rolle dieser Schlüsseltechnologie trägt unter anderem die strategische Wissenschaftsagenda der EU von 2020<sup>27</sup> Rechnung, welche forschungspolitische Schwerpunkte im Bereich der stationären Energiespeicher und der Batteriezellproduktion setzt. Industrieseitig ist zeitgleich ein deutlicher Aufwuchs europäischer Batteriezellproduktionen angekündigt worden. Die EU-weite Öffnung und Vernetzung des deutschen Batterieökosystems gewinnt vor diesem Hintergrund zunehmend an Bedeutung. Vor allem die Vernetzung des Maschinen- und Anlagenbaus mit unterschiedlichen Akteurinnen und Akteuren auf allen Ebenen der Batteriezellproduktion spielt eine wichtige Rolle, um zukünftig einen gesamteuropäischen Systemanbieter für komplette Giga-Factory-Ausstattungen mit einer signifikanten deutschen Beteiligung zu etablieren. Wichtig ist dabei die Abstimmung mit und auf nationale und europäische Aktivitäten und Maßnahmen. Die Forschungs- und Innovationsziele der „European Technology & Innovation Platform“ (ETIP)<sup>28</sup> und der „Strategic Research and Innovation Agenda“ (SRIA)<sup>29</sup> müssen synergetisch unterstützt werden. Für den

27 Batteries Europe – Strategic Research Agenda for batteries 2020, <https://ec.europa.eu/newsroom/ener/items/696024>

28 [https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/batteries-europe/platform-and-its-governance\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/batteries-europe/platform-and-its-governance_en)

29 <https://bepassociation.eu/our-work/sria/>

europäischen Forschungs- und Entwicklungsraum sind diesbezüglich fünf verschiedene Kernfelder zu nennen: Rohmaterialien und Recycling, verbesserte Materialien und Herstellungsverfahren, Batterie-zellproduktion, Batterienutzung, Sicherheit und Nachhaltigkeit. Sie bilden die Grundlage für die Ausgestaltung künftiger Förderprogramme unter dem Rahmenprogramm „Horizon Europe“<sup>30</sup> und decken sich ideal mit den Handlungsfeldern des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung. Weiterhin gilt es für den deutschen und europäischen Erfolg, die Integration der Pilotlinien in europäische Forschungskonzepte voranzubringen, etwa über Initiativen wie „LiPlanet“<sup>31</sup> oder die Etablierung der FFB als neues Innovationsinstrument für die deutsche und europäische Batterieforschung. Darüber hinaus ist es wichtig, dass Deutschland auch weiterhin als starker und verlässlicher Partner mit den für die Batterieproduktion relevanten, dynamischen Wissens- und Wirtschaftsräumen außerhalb Europas interagiert und partizipative Kooperationen aktiv mitgestaltet. Hierzu sollen aussichtsreiche bestehende Kooperationen gefestigt, ausgebaut, neue bei Bedarf etabliert sowie Netzwerke sinnvoll erweitert werden.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Bereich der internationalen Vernetzung dazu führen, dass:

- mindestens **zwei weitere europäische oder internationale, batteriebezogene Forschungs-koooperationen** innerhalb des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung geschlossen wurden.

#### 5.4 Forschungsexzellenz und Nachwuchs fördern

Nur wer wissenschaftliche Exzellenz auf herausragenden Technologieplattformen abbildet und mit möglichst hoher Geschwindigkeit und Effizienz innovative Anwendungen und Produkte auf dem Markt etabliert, kann den Nutzen der Batterietechnologie für die eigene Wirtschaft und Gesellschaft maximieren. Gleichzeitig bietet sich so die Möglichkeit, Normen zu setzen, die sich mit europäischen Werten decken und Nachhaltigkeit sowie faire Bedingungen für alle Beteiligten der Batteriewertschöpfungskette sicherstellen. Hierzu braucht es Technologieökosysteme, die alle Stufen der

Innovations- und Wertschöpfungskette umfassen. Die Batteriekompetenzcluster leisten wichtige Beiträge für solche Ökosysteme, aus denen wissenschaftliche Exzellenzzentren erwachsen können. Erste Erfolge im Bereich der Festkörperbatterien und der Batterieproduktionsforschung können hier als Vorbild für die Zukunft (zum Beispiel im Bereich der Natrium-Ionen- oder Lithium-Schwefel-Batterien) dienen. An derartigen Batterieexzellenzzentren können beispielsweise Lernfabriken und Batterieakademien angegliedert und so neue Bildungspfade eröffnet werden. Dabei sollen Nutzen und Wirkung dieser Instrumente nicht nur lokal beschränkt bleiben, sondern mindestens bundesweit, möglichst aber europaweit positive Effekte erzielen.

Besonderer Handlungsbedarf besteht bei der Qualifizierung von Fach- und Nachwuchskräften innerhalb des Batterieökosystems für den Hochlauf der europäischen Batteriezellproduktionen. Im Rahmen der Transformation der Automobilindustrie wird erwartet, dass innerhalb der europäischen Auto- und Zuliefererindustrie 580.000 Arbeitsplätze entfallen und zeitgleich 420.000 neue entstehen<sup>32</sup>. Batterieexzellenzzentren und Nachwuchsfördermaßnahmen können einen entscheidenden Beitrag zur Qualifizierung und Umschulung der für diesen Wandel erforderlichen Fach- und Nachwuchskräfte leisten. Ziel ist es, langfristig Ökosysteme aus gut ausgebildeten „Battery-Natives“ zu schaffen, um so die Technologieführerschaft in der Schlüsseltechnologie Batterie schnell zu erreichen und langfristig behaupten zu können.

Bis 2026 sollen die Maßnahmen im Bereich der Förderung von Forschungsexzellenz und Nachwuchs dazu führen, dass:

- mindestens zehn **neue „Batterienachwuchsgruppen“** gebildet wurden (vgl. 5.1);
- deutschlandweit mindestens eine **öffentlich zugängliche Batterieakademie** entstanden ist;
- der **globale Publikationsanteil Deutschlands von 1/20 auf mindestens 1/15** erhöht wurde (vgl. 5.1).

<sup>30</sup> [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en)

<sup>31</sup> <https://www.liplanet.eu/>

<sup>32</sup> VDMA, FEV-Consulting GmbH, Studie „Antrieb im Wandel“, 2021

# Das Förderkonzept – Umsetzung der fünf Handlungsfelder

Mit den fünf Handlungsfeldern des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung wird das Forschungsthema Batterie inhaltlich fokussiert und durch die Definition von Meilensteinen messbar gestaltet. Dabei wird bewusst auf scharfe Trennlinien zwischen den Handlungsfeldern verzichtet, da Forschungsthemen in mehreren Handlungsfeldern zum Erreichen der Meilensteine beitragen können. Zum Gestalten und Steuern der Handlungsfelder nutzt das BMBF ein breites Förderinstrumentarium. Die jeweiligen Förderinstrumente kommen in allen Handlungsfeldern im Sinne einer Matrixstruktur zur Anwendung.

Dabei werden im thematisch-inhaltlichen Dialog mit Akteurinnen und Akteuren aus Forschung und Industrie zwei Ansätze verfolgt (siehe Abbildungen 1 und 3). Mit dem Top-Down-Ansatz („Innovation Push“) werden relevante Themen – von der grundlegenden Materialforschung bis hin zur Prozess- und Skalierungsforschung – aufgegriffen und in

definierten Fördermaßnahmen erforscht. Der Bottom-Up-Ansatz („Market Pull“) ermöglicht es, vielfältige Themen zu verschiedenen Batteriekonzepten in unterschiedlichen Innovationsstadien akteurspezifisch zu bearbeiten. Im Kern geht es um Lösungsansätze, die aufgrund von Kunden- und Marktbedarfen sowie Technologieentwicklungen zielgerichtete Innovationen erfordern und aus der (anwendungsorientierten) Grundlagenforschung in die industrielle Anwendung gebracht werden sollen. Die Kombination von Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz befüllt die Innovationspipeline durchgehend und festigt sie dauerhaft (siehe Abbildung 1). Batterieforschung von den Grundlagen bis hin zur industriellen Anwendung wird optimal verbunden, die Fortentwicklung einzelner Batterietechnologien beschleunigt. Die Ziele der Handlungsfelder werden nicht notwendigerweise durch eine geförderte Maßnahme alleine erreicht, sondern sind Ergebnis aller Forschungsaktivitäten im Rahmen des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung.

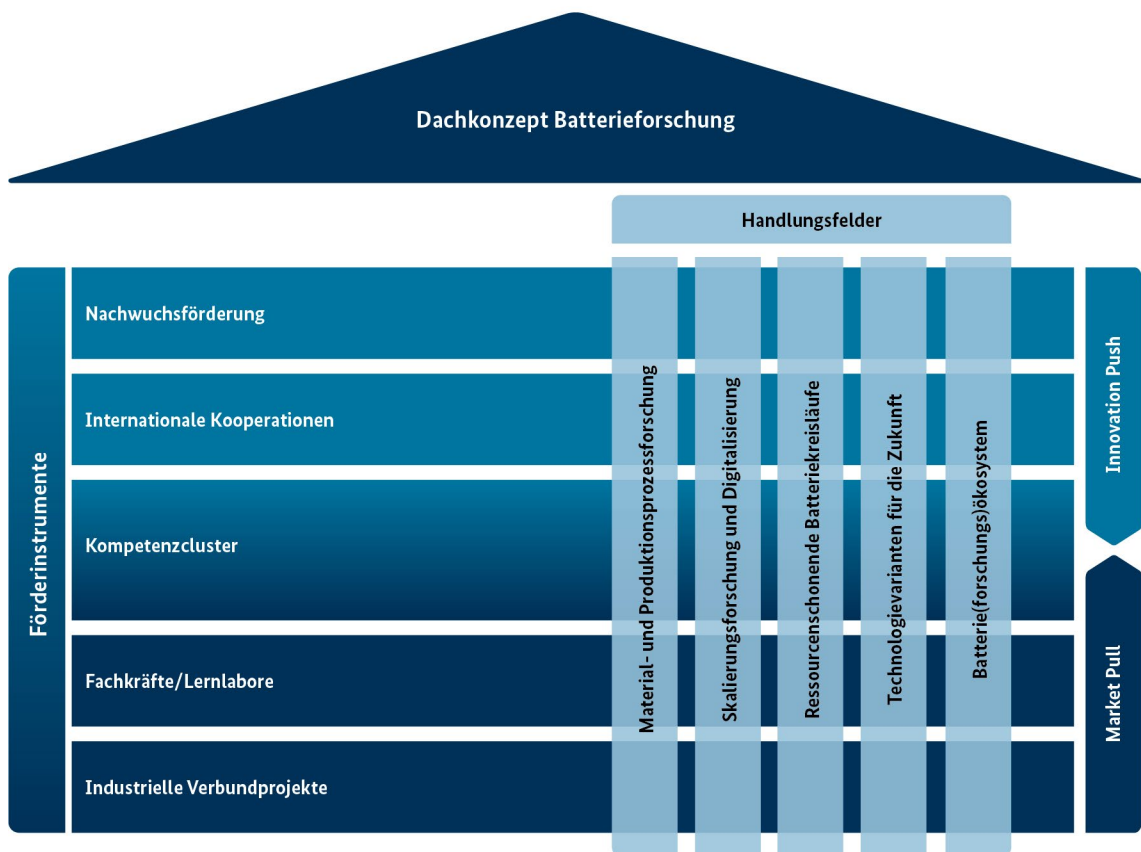


Abbildung 3: Dachkonzept Batterieforschung – Handlungsfelder und Förderinstrumente

## Förderinstrumente

In der Umsetzung des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung spielen die förderpolitischen Instrumente eine zentrale Rolle. Sie sind entlang von Förderkaskaden (siehe Abbildung 4) ausgerichtet und dienen

dazu, die formulierten Ziele (siehe Kapitel 2) zu erreichen und die zielorientierte Forschungsagenda konsequent umzusetzen.

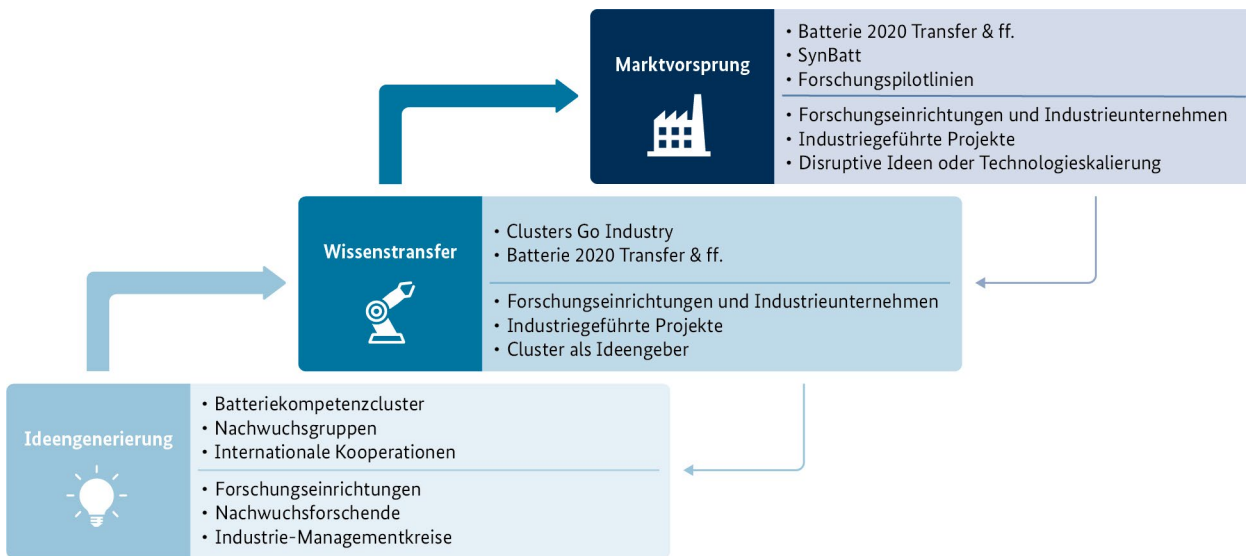


Abbildung 4: Förderkaskade im Dachkonzept Batterieforschung

## Kompetenzcluster

Ein wesentliches Element des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung sind die Batteriekompetenzcluster. Die Kompetenzcluster sind dynamische, temporäre Förderinstrumente zum Aufbau oder zur Vertiefung anwendungsnaher Forschungsthemen als Teil des Innovation-Push-Ansatzes. Ziel der Kompetenzcluster ist es, größere, komplexe Forschungsaufgaben durch die Bündelung der bundesweiten akademischen Kompetenzen und der Forschungsinfrastruktur zu realisieren. Aktuell fördert das BMBF mehrere Batteriekompetenzcluster zu Themen entlang der gesamten Batteriewertschöpfungskette:

Im Kompetenzcluster **ExcellBattMat**<sup>33</sup> werden neue Materialkonzepte für flüssigelektrolyt-basierte Batteriesysteme der Zukunft entwickelt, charakterisiert und erprobt.

Im Kompetenzcluster **FestBatt**<sup>34</sup> stehen material-spezifische Fragestellungen zu Festkörperbatterien als zukunftsweisende Batterietechnologie im Fokus.

**ProZell**<sup>35</sup> betrachtet Auslegung, Optimierung und simulationsgestützte Vorhersage der Prozessketten der Batteriezellproduktion vom Batterierohmaterial bis zur qualitätsgeprüften Zelle sowie deren Einfluss auf Zelleigenschaften und Produktgestehungskosten.

**InZePro**<sup>36</sup> legt den Schwerpunkt auf Themen der intelligenten Batteriezellproduktion, von Automatisierung und Skalierung des Batterie- und Komponentenproduktionsprozesses bis zur Optimierung des Produktionssystems mit Lösungen der Industrie 4.0.

33 <https://www.excellbattmat.de>

34 <https://festbatt.net>

35 <https://prozell-cluster.de/>

36 <https://www.inzeopro-cluster.de>

**AQua**<sup>37</sup> hat sich das Ziel gesetzt, Innovationen, Strategien und Standards für die Analytik und Qualitätssicherung in der Batterieproduktion zu erarbeiten.

Die systematische Gestaltung des Batterie-Lebenszyklus, die Berücksichtigung und Weiterentwicklung effizienter Recyclingtechnologien und die Integration von rückgewonnenen Materialien in die Batterie-zellproduktion stehen bei **greenBatt**<sup>38</sup> im Fokus.

Der Kompetenzcluster **BattNutzung**<sup>39</sup> beschäftigt sich mit dem Verständnis von Batteriezuständen und -verhalten und deren Einfluss auf mögliche Batterieanwendungen inklusive der Zweitnutzung („2nd Life“).

Mit der Fördermaßnahme **ForBatt** wird begleitend zu den Kompetenzclustern die nationale Forschungsinfrastruktur an den Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen angepasst und ausgebaut. Ziel ist es, die Forschungseinrichtungen für die aktuellen Herausforderungen im Bereich der Batterieforschung handlungsfähig zu machen, beziehungsweise zu halten.

Zukünftig wird die Förderung der Kompetenzcluster unter einem Dach zusammengeführt. Mit der Fördermaßnahme **Clusters Go Industry** wird eine Verstärkung und Fortsetzung erfolgreicher Forschungsaktivitäten erreicht und ein flexibles Instrument für die Förderung wissenschaftsbasierter, industrienahe Batterieforschung geschaffen. Ziel der

Fördermaßnahme ist es deshalb, erfolgreiche Cluster thematisch fortzusetzen, zu erweitern oder zusammenzuführen und – bei Bedarf – neue Cluster zu initiieren. So sollen Kompetenzlücken in der Wertschöpfungskette geschlossen und der Ergebnistransfer in die industrielle Praxis beschleunigt werden. Die Vernetzung zwischen den Kompetenzclustern wird verstärkt und Synergien für Cluster-übergreifende Crossover-Projekte genutzt. In diesem Rahmen werden auch Forschungsk Kooperationen ermöglicht, in denen auf Initiative und unter Federführung der Industrie Unternehmen gemeinsam mit einer oder mehreren Forschungseinrichtungen die erarbeiteten Ergebnisse aus Clusterprojekten aufgreifen und mit dem klaren Ziel eines Industrietransfers weiterverfolgen.

Mit den deutschen **Forschungsproduktions- und Forschungsrecyclinglinien** werden im Labormaßstab entwickelte Prozesse der Materialsynthese und der Batterie-zellfertigung aus Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sukzessive skaliert. Die Skalierungsschritte umfassen beispielsweise Änderungen in den Prozessparametern, bei den Anlagenkomponenten oder an den Anlagen selbst. Einzelne Änderungen in den Produktionsprozessen haben einen direkten Einfluss auf die Eigenschaften der Materialien und Komponenten sowie auf die Performance des Produktes. Für Untersuchungen in einem möglichst industrienahen Umfeld lassen sich Prozesse und Prozessschritte auf höchster Skalierungsstufe an der **Forschungsfertigung Batteriezelle (FFB)** untersuchen.

## Industriegeführte Verbundprojekte

Neben den Kompetenzclustern des Dachkonzepts initiiert das BMBF Fördermaßnahmen zu gezielten Themenschwerpunkten der Batteriewertschöpfungskette unter Koordination der Industrie. Hierdurch werden wichtige Förderbedarfe, die sich beispielsweise aus den Kompetenzclustern herausbilden, gezielt unterstützt. Diese Art der Förderung von Forschung und Entwicklung wird stetig justiert, um in der Batterieforschung auf neue Entwicklungen reagieren und international konkurrenzfähig bleiben zu können. Zudem werden einzelne industrierelevante

Themenschwerpunkte priorisiert und die zugehörige Forschung und Entwicklung als Teil des Market-Pull-Ansatzes fokussiert vorangetrieben.

Die **Forschungsförderung in Verbundprojekten zwischen Industrie, Hochschulen und Forschungseinrichtungen** zielt grundsätzlich auf einen schnellen Technologietransfer aus dem Labor in die industrielle Anwendung ab. Fachliche Schwerpunkte liegen auf den Wertschöpfungsstufen des Produkt- und Prozessdesigns, auf der Synthese von Batteriematerialien inklusive der

<sup>37</sup> <https://aqua-cluster.de>

<sup>38</sup> <https://www.greenbatt-cluster.de>

<sup>39</sup> <https://www.battnutzung-cluster.de>

zugehörigen Skalierung sowie auf den Fertigungsprozessen für Batteriezellen und -komponenten. Weitere Schwerpunkte werden bei der Wiedernutzung von Sekundärrohstoffen, dem Batteriematerialrecycling sowie der Verbreiterung der Rohstoffbasis für Batterien gesetzt. Neben den bisher im Fokus der Förderung stehenden Lithium-Ionen-System, sollen künftig weitere Systeme wie Natrium-Ionen und andere alternative Batteriematerialien stärker adressiert werden. Da die unterschiedlichen alternativen Batterietechnologien auf diversen technologischen Reifegraden verortet sind, werden die Fördermaßnahmen einen breiten TRL-Bereich (circa TRL 2 – 6) abdecken und so eine frühe Einbindung von Industriepartnern – gerade auch von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) – in die Verbundprojekte ermöglichen. Material- und Prozessentwicklungen erfolgen unter Berücksichtigung der Gesamtbatteriesysteme und führen zu deutlichen, quantifizierbaren Verbesserungen der unterschiedlichen Batterieeigenschaften wie Energiedichte,

Leistungsdichte, Schnellladefähigkeit, Lebensdauer, Sicherheit, Alterung und Kosten.

Zur Unterstützung des deutschen **Maschinen- und Anlagenbaus**, setzt das BMBF einen weiteren Förderungsschwerpunkt auf die Schaffung von Allianzen und die Nutzung von Synergien einzelner Wertschöpfungsstufen sowie Fachrichtungen. So soll der deutsche Maschinen- und Anlagenbau internationaler Vorreiter in der Produktion nachhaltiger Batteriezellen und bei deren Recycling werden. Dabei können Forschungspilotlinien dem Maschinen- und Anlagenbau bei der Validierung und Demonstration seiner Produkte helfen. An den deutschen Pilotlinien sollen bestehende Herstellungs- und Prozessierungskonzepte für neue Batteriesysteme und Recyclingverfahren getestet und qualifiziert werden. So können die Investitionskosten für Unternehmen bei der Etablierung neuer, innovativer Anlagen- und Batteriekonzepte gesenkt und die Markteinführungszeit („Time to Market“) verkürzt werden. Hierdurch ergeben sich Schnittstellen zur Kernkompetenz der FFB.

## Internationale Kooperationen

Kooperationen mit forschungsstarken Ländern bieten die Möglichkeit, gemeinsame Schritte hin zu ressourceneffizienten, nachhaltigen und zukunftssicheren Batterietechnologien zu gehen und die eigene Forschung konstruktiv zu reflektieren. Im EU-Rahmenprogramm Horizont Europa wurde die Bedeutung der Batterieforschung durch die Etablierung der Batteriepartnerschaft **BATT4EU**<sup>40</sup> weiter gestärkt. Die Forschungsagenda der Partnerschaft und somit auch die Ausschreibungsthemen in Horizont Europa orientieren sich an den Bedarfen der gesamten Batteriewertschöpfungskette und richten sich an die besten Forschenden in der gesamten EU. Die Bündelung internationaler wissenschaftlicher Kompetenzen ermöglicht einen schnelleren wissenschaftlich-technologischen Fortschritt als eine isolierte nationale Vorgehensweise. Durch den Wissenstransfer profitiert im Sinne der Innovationspipeline auch der Industriestandort Deutschland. Aus diesem Grund beteiligt sich das BMBF an zentralen europäischen Maßnahmen und hat das BMBF-Dachkonzept Batterieforschung auf die europäischen Strategien abgestimmt. In den

vergangenen Jahren wurden europäische multilaterale Kooperationen, wie das M-ERA.Net, sowie bilaterale Forschungsk Kooperationen, **unter anderem mit Israel, Japan und den USA**, zu jeweils unterschiedlichen Fragestellungen bei den Batterietechnologien geschlossen. Weitere Kooperationen mit europäischen Partnern, aber auch weltweit, bieten die Chance zum Wissens- und Technologieaufbau und sollen künftig die bestehenden Kooperationen ergänzen.

Die Fortsetzung der Beteiligung am europäischen Netzwerk zur Koordination von nationalen und regionalen Forschungsprogrammen (M-ERA.NET III) ist dabei ein zentrales Element. Das **M-ERA.NET** unterstützt die Zusammenarbeit deutscher Unternehmen – in Kooperation mit deutschen Forschungseinrichtungen – mit akademischen und industriellen Partnern der beteiligten Länder und Regionen. Primär werden in diesem Rahmen Materialwissenschaften und Batterietechnologien als Schlüsseltechnologien adressiert. Das M-ERA.NET ist eines der größten ERA-Netze, das durch die Europäische Kommission gefördert wird.

<sup>40</sup> <https://bepassociation.eu/about/batt4eu-partnership/>

## Nachwuchsförderung

---

Die Schaffung guter Startbedingungen für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist essenziell, damit der deutschen Wissenschaft und Wirtschaft exzellente Nachwuchskräfte im Bereich der Batterietechnologien zur Verfügung stehen. Im BMBF-Dachkonzept Batterieforschung werden daher etablierte Fördermaßnahmen fortgeführt, bedarfsgerecht ausgebaut und neue initiiert:

Die Fördermaßnahme **BattFutur** verbessert die Karriereperspektiven für den **exzellenten wissenschaftlichen Nachwuchs** im Bereich der Batterieforschung, eröffnet aussichtsreiche Karrierewege auch außerhalb der akademischen Laufbahn und unterstützt junge Forschende bei frühzeitigen Entscheidungen für Karrierewege in Deutschland. Den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern wird die Möglichkeit gegeben, sich mit ihren stark anwendungsorientierten Forschungsarbeiten, der Führung von (wissenschaftlichem) Personal und einer möglichen Unternehmensgründung für Leitungsaufgaben in Wirtschaft oder Akademie zu qualifizieren. Weiterhin dient die Nachwuchsförderung der Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung. Jungen Forschenden werden durch die Nachwuchsförderung Kooperationsmöglichkeiten mit ausländischen Forschungseinrichtungen und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ermöglicht. Gleichzeitig werden jungen Forschenden, die bislang im Ausland gearbeitet haben, gute Karrierechancen für eine Rückkehr geboten und ausländische Forschende für den Forschungs- und Industriestandort Deutschland gewonnen.

**Lernfabriken** können zur Nachwuchsförderung beitragen. Eine Lernfabrik wird so gestaltet, dass diese eine innovative Lehr- und Lernumgebung zur Vermittlung von Fach- und Methodenkompetenzen in der Ausbildung und Förderung (wissenschaftlicher) Fachkräfte, beispielsweise im Bereich der zirkulären Batteriezellproduktion, bietet. Ein tiefgehendes Verständnis über geschlossene (zyklische) Material- und Stoffkreisläufe ist ein zentraler Grundpfeiler für die Ausbildung und Förderung von Fachkräften der nächsten Generation und Voraussetzung für eine intelligente und effiziente Produktion nachhaltiger Batteriezellen am Wirtschaftsstandort Deutschland. Daher ist an der FFB der Aufbau einer Lernfabrik, dem „European Learning Lab Battery“ (ELLB), bereits in Umsetzung.

Ein weiteres Element stellen die **anwendungsorientierten Batterieakademien** dar, die inhaltlich auf aktuelle Themen im Batteriebereich fokussieren. Diese können Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und der Industrie – Maschinen- und Anlagenbauern wie OEMs und deren Zulieferern – helfen, den enormen Fachkräftebedarf im Rahmen des Hochlaufs europäischer Batterie(zell-)produktionskapazitäten zu decken. Des Weiteren können so die Ziele des „Education and Skills Position Papers“<sup>41</sup> der Europäischen Kommission und europäische Aktivitäten, wie die „European Battery Alliance Academy“<sup>42</sup> (EBA-Akademie) und das „Doctorate Programme on Emerging Battery Storage Technologies Inspiring Young Scientists“<sup>43</sup> (DESTINY) synergetisch unterstützt werden.

## Governance des Dachkonzepts

---

Die Umsetzung des Dachkonzepts kann nur im Schulterschluss mit allen relevanten Akteurinnen und Akteuren aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Industrie und Politik gelingen. Der Governance des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Zentrales Beratungsgremium der Batterieförderung des

Bundesforschungsministeriums ist ein schlagkräftiger **Beirat Batterieforschung Deutschland**. Aufgabe des Beirats Batterieforschung Deutschland ist es, das BMBF bei der strategischen Planung von Förderaktivitäten zu beraten und Handlungsoptionen zur Weiterentwicklung des Dachkonzepts aufzuzeigen. Dazu gehören Empfehlungen zur Definition von

41 [https://energy.ec.europa.eu/education-and-skills-task-force-position-paper\\_en](https://energy.ec.europa.eu/education-and-skills-task-force-position-paper_en)

42 <https://www.eba250.com/eba-academy/about-eba-academy/>

43 <https://cordis.europa.eu/project/id/945357/de>

übergeordneten technologischen Zielen und von mittel- und langfristigen Forschungsschwerpunkten mit dem Ziel Kompetenzlücken zu schließen. In die Überlegungen fließt ein Abgleich der Schwerpunkte mit aktuellen nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten, insbesondere den europäischen, ein.

Mithilfe von **Managementkreisen** gelingt es, die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der Kompetenzcluster eng an aktuellen Fragestellungen und Forschungsbedarfen der deutschen Batterieindustrie zu spiegeln. Jeder Kompetenzcluster wird von einem Managementkreis begleitet, der in der Regel aus acht bis zwölf Expertinnen und Experten aus der Industrie sowie ausgewählten Vertretenden aus der Akademie besteht. Die Mitglieder übernehmen die Bewertung der Zwischenzielerreichung der einzelnen Förderprojekte und beraten die Kompetenzcluster und das BMBF hinsichtlich der thematischen Ausrichtung, sie haben so einen wissenschaftlich-operativen Fokus auf die Clusteraktivitäten. Die Batteriekompetenzcluster mit ihren Managementkreisen sind Bindeglied zwischen Grundlagen- und Anwendungsforschung und Grundlage dafür, einen engen Schulterschluss zwischen Wissenschaft und Industrie innerhalb des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung zu erzielen.

Eine wesentliche Rolle in der Weiterentwicklung des Forschungs- und Innovationssystems spielen

zentrale Schnittstellen zwischen Wissenschaft, Forschung, Industrie und Politik, an denen Projekte fachlich kompetent begleitet und für die Auftraggeber organisatorisch umgesetzt werden<sup>44</sup>. Dies gilt auch für den Bereich Batterietechnologie und insbesondere für die Umsetzung des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung und seiner Fördermaßnahmen. Durch eine effiziente und verwertungsorientierte Umsetzung dieses Dachkonzepts wird aus staatlicher Forschungsförderung ein höherer volkswirtschaftlicher und gesellschaftlicher Mehrwert generiert. Erreicht wird dies durch ein effizientes Forschungs- und Innovationsmanagement, zum Beispiel durch gezielter Begleitung von Fördermaßnahmen und Einzelprojekten oder über die Managementkreise der Kompetenzcluster. Wichtige Elemente sind dabei eine meilensteinorientierte Förderung für risikoreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die Entwicklung und Erprobung neuer Förderformate und die Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen im Bereich der Stimulation von Innovationen. Das Leitziel ist eine effiziente Förderung und die erfolgreiche Umsetzung des BMBF-Dachkonzepts Batterieforschung und seiner Zielsetzung:

**Dem Aufbau einer technologisch souveränen, wettbewerbsfähigen und gleichzeitig nachhaltigen Batteriewertschöpfungskette in und für Deutschland und Europa.**

<sup>44</sup> Neue Impulse für das Forschungs- und Innovationssystem – Positionspapier der Mitglieder des Netzwerks der deutschen Projektträger, 02/2022



## Impressum

**Herausgeber**

Bundesministerium  
für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 525 Batterie; KIT  
53170 Bonn

**Stand**

Februar 2023

**Text**

BMBF

**Gestaltung**

Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

**Bildnachweise**

Titel: AdobeStock/RareStock  
S. 7, 8, 25, 26: Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich  
GmbH

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.

