



## BMBF-Begleitprojekt Batterielebenszyklus

Zusammenstellung von Handlungsempfehlungen im Rahmen des Begleitprojektes Batterielebenszyklus

FKZ 03XP0302E

Förderzeitraum 01.09.2020 – 31.08.2024

// Buchert, M.; Klinge, J.; Sutter, J.

Öko-Institut e. V.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Das Begleitvorhaben „Batterie-Lebenszyklus - greenBattNutzung“ war für das zentrale Management der beiden BMBF- Kompetenzcluster greenBatt und BattNutzung verantwortlich: für die Koordination der Aktivitäten, das Ergebniscontrolling und die Fortschrittskontrolle sowie die Clusterkommunikation und die Veranstaltungsorganisation. Im Rahmen der beiden Kompetenzcluster haben zahlreiche Nachwuchswissenschaftler\*innen ihre wissenschaftlichen und fachlichen Kompetenzen und Erfahrungen deutlich ausbauen können. Es ist essenziell, die Batterieforschung als zentrales Zukunftsthema für Deutschland anzuerkennen und entsprechend weitere und nachhaltige Perspektiven für neue Generationen an Nachwuchswissenschaftler\*innen in diesem Bereich zu schaffen. Diese Kompetenzträger\*innen sind die zukünftigen Gründer\*innen von Start-Ups, die zukünftigen Forschungs- und Betriebsleiter\*innen in Unternehmen und einige von ihnen auch die zukünftigen Hochschullehrer\*innen und Institutsleiter\*innen, die zukünftig selbst nachhaltig für exzellent ausgebildeten Nachwuchs und damit nicht zuletzt auch für industrielle und wirtschaftliche Prosperität in Deutschland sorgen werden. In diesem Policy Brief werden die folgenden zentralen Handlungsempfehlungen aus den umfassenden Arbeiten abgeleitet.

### Zentrale Handlungsempfehlungen

- Handlungsempfehlung 1: Steigerung der Recyclingeffizienzen + Rückgewinnungsquoten
- Handlungsempfehlung 2: Informationsweitergabe entlang der Wertschöpfungskette
- Handlungsempfehlung 3: Design für Recycling und Wiederverwendung/Umnutzung
- Handlungsempfehlung 4: Unterstützung der Wiederverwendung/Umnutzung
- Handlungsempfehlung 5: Gesamtsystembewertung

## 1 Zentrale Fragestellungen

Mit der steigenden Marktdurchdringung von Lithium-Ionen-Batterien wächst die Anforderung, die mit den Batterien verbundenen Umweltauswirkungen so weit wie möglich zu reduzieren. Dazu müssen die Nutzungsdauer der Batteriezellen maximiert und die Stoffkreisläufe der Rohstoffe geschlossen werden. Zu diesem Zweck wurden vom BMBF im Jahr 2020 zwei Kompetenzcluster im Rahmen der Querschnittsinitiative Batterielebenszyklus auf den Weg gebracht. Im Fokus des Kompetenzclusters „Batterienutzungskonzepte - BattNutzung“<sup>1</sup> steht die Verlängerung der Batterienutzungsdauer und Unterstützung der Entwicklung neuer Material- und Zellkonzepte. Das Kompetenzcluster „Recycling & grüne Batterie - greenBatt“<sup>2</sup> schafft die Grundlagen für das nachhaltige Recycling von Batterien und Rohstoffen sowie die Schließung von Stoff- und Materialkreisläufen im Batterielebenszyklus.

## 2 Forschungsagenda und Akteure der Kompetenzcluster

Die Größe und Struktur der beiden Kompetenzcluster erforderte eine Unterstützung durch ein Begleitprojekt, damit die Erreichung der Clusterziele gesteuert und sichergestellt werden kann (Abbildung 2-1 zeigt eine Übersicht der beteiligten Partner im Begleitprojekt). Das Begleitvorhaben „Batterielebenszyklus - greenBattNutzung“ übernahm das zentrale Management der beiden Kompetenzcluster durch Koordination der Aktivitäten, Ergebniscontrolling und Fortschrittskontrolle sowie Clusterkommunikation und Veranstaltungsorganisation<sup>3</sup>. Zudem erfolgte eine Bündelung und Integration der Forschungsergebnisse durch Zusammenführung der im Rahmen der Clusterprojekte erarbeiteten Daten, Methoden, Werkzeuge und Erkenntnisse in einer zentralen Daten- und Dokumentaustauschplattform. Dadurch wurde die Vernetzung der unterschiedlichen Forschungseinrichtungen gestärkt und es fand ein optimaler Ergebnistransfer im Clusternetzwerk statt. Darüber hinaus wurden im Begleitprojekt durch eine zentrale Entwicklung und Bereitstellung von Parametern und Szenarien Referenzen und Standards für die Arbeit in den Clusterprojekten definiert, wodurch eine einheitliche Bewertungsgrundlage geschaffen wurde. Weiterhin erfolgte im Begleitprojekt aufbauend auf den Ergebnissen der Clusterprojekte die ganzheitliche Bewertung verschiedener Nachnutzungs- und Recyclingoptionen für Batterien hinsichtlich der wirtschaftlichen, technologischen und ökologischen Auswirkungen aus Lebenszyklussicht. Die entwickelten Methoden und Werkzeuge für die Gesamtsystembewertung wurden Open Source zur Verfügung gestellt, wodurch die Auswahl von optimalen Nachnutzungs- und Recyclingoptionen für ein breites Feld von Anwendungen ermöglicht wurde. Basierend auf den Erkenntnissen aus den Clusterprojekten wurden Handlungsempfehlungen für verschiedene Akteure aus den Bereichen Politik, Wirtschaft und Forschung abgeleitet, um ein Einbeziehen in zukünftige Entscheidungen zu bewirken.

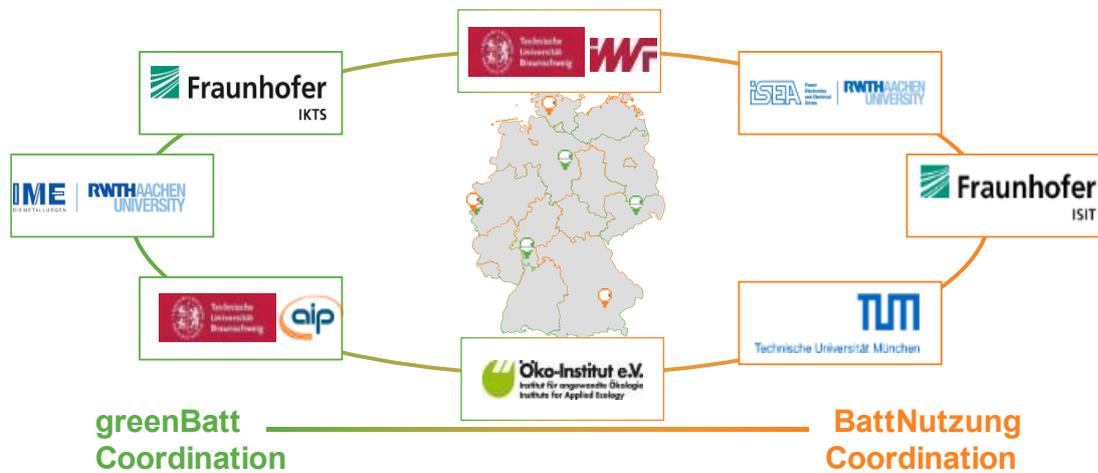
---

<sup>1</sup> <https://www.battnutzung-cluster.de/de/>

<sup>2</sup> <https://www.greenbatt-cluster.de/de/>

<sup>3</sup> <http://www.greenbattnutzung.de/>

**Abbildung 2-1: Partner des Begleitprojekts greenBattNutzung im Rahmen der Querschnittsinitiative Batterielebenszyklus**



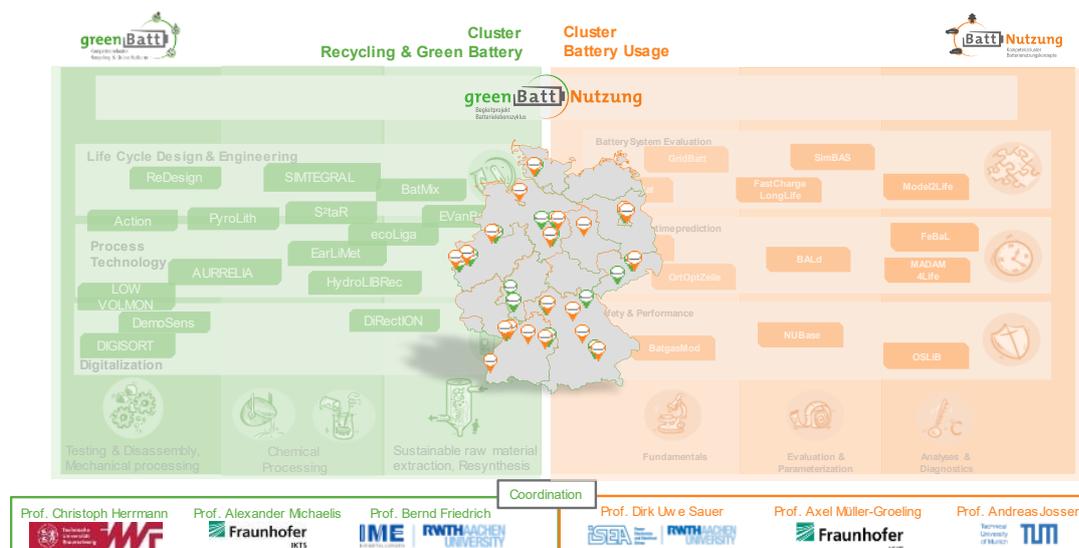
Die Ziele des Begleitprojekts „Batterielebenszyklus - greenBattNutzung“ umfassten:

- Definition von Referenzen und Standards:
  - Zentrale Entwicklung und Bereitstellung von Informationen und Modellierungsparametern basierend auf einem begleitenden Technologie-monitoring und -roadmapping.
  - Definition von Szenarien für die Clusterarbeit.
- Integration von Forschungsergebnissen und Bereitstellung von Methoden und Werkzeugen für die Gesamtsystemanalyse und -bewertung:
  - Zusammenführung der im Rahmen der Clusterprojekte erarbeiteten Daten, Methoden, Werkzeuge und Forschungsergebnisse in einer zentralen Daten- und Dokumentaustausch- und Publikationsplattform.
  - Bereitstellung von Open Source Werkzeugen aus den beiden Clustern „Batterienutzungskonzepte“ sowie „Recycling & grüne Batterie“ für die Gesamtsystemanalyse und -bewertung.
  - Durchführung der Gesamtsystemanalyse und -bewertung auf Basis von Szenarien, der während der gesamten Projektlaufzeit der Clusterprojekte erhobenen Daten, entwickelten Modelle und gewonnenen Erkenntnisse sowie der Kooperation mit weiteren Kompetenzclustern (z. B. Excel-Bat-Mat, ProZell, FestBatt).
  - Die ganzheitliche Bewertung des Gesamtsystems über alle Batterielebenszyklusphasen unter Einbezug der Clusterprojekte sowie der Ergebnisse der weiteren Kompetenzcluster im Dachkonzept Batterieforschung.

- Ableitung von Handlungsempfehlungen für verschiedene Akteure aus den Bereichen Politik, Wirtschaft und Forschung und Diskussion dieser mit der Öffentlichkeit.
- Unterstützung der strukturierten Zielerreichung des Clusters und des Ergebnistransfers innerhalb des Clusternetzwerks durch:
  - Koordination und Bündelung der Aktivitäten beider Kompetenzcluster,
  - Ergebniscontrolling und Fortschrittskontrolle,
  - Clusterkommunikation,
  - Veranstaltungsorganisation.

Basierend auf den im Begleitprojekt erarbeiteten Grundlagen soll zukünftig die Auswahl von optimalen Nachnutzungs- und Recyclingoptionen ermöglicht werden. Abbildung 2-2 zeigt eine Übersicht zu den beiden Kompetenzclustern mit den zugeordneten Einzelvorhaben sowie Akteure der Clusterkoordination.

**Abbildung 2-2: Übersicht Cluster greenBatt & BattNutzung**



Die umfassenden Forschungsarbeiten in den Einzelvorhaben innerhalb der beiden Kompetenzcluster sowie das Begleitvorhaben „greenBattNutzung“ wurden beginnend im Herbst 2020 bis zum Jahr 2024 durchgeführt. Im Folgenden werden wichtige Handlungsempfehlungen aus den Forschungsaktivitäten und -ergebnissen zusammengefasst.

### 3 Abgeleitete Handlungsempfehlungen

Basierend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen aus den Clusterprojekten können die nachfolgend formulierten Handlungsempfehlungen für verschiedene Akteure aus den Bereichen Politik, Wirtschaft und Forschung abgeleitet werden, die in zukünftige Entscheidungen einfließen sollten.

#### 3.1 Handlungsempfehlung 1: Steigerung der Recyclingeffizienzen und Rückgewinnungsquoten

Recycling ist generell mit Materialverlust verbunden. Das stoffliche Recycling ersetzt nicht einen effektiveren Umgang mit vorhandenen funktionsfähigen Produkten. Dennoch können Vorgaben zur Recyclingeffizienz und Rückgewinnungsquoten auf strategische Materialien der Kreislaufwirtschaft einen guten gesetzlichen Rahmen gestalten und Anreize liefern.

Die EU gibt in der 2023 verabschiedeten Batterieverordnung für bestimmte Materialien Rückgewinnungsquoten vor (Kobalt, Kupfer, Nickel, Lithium). Um jedoch die Recyclingeffizienz insgesamt zu steigern, müssen auch weitere Materialien wie Graphit, Aluminium und Mangan zurückgewonnen werden. Gerade die Rückgewinnungsquote von Aluminium beeinflusst die Treibhausgasbilanz aufgrund des großen Anteils im Batteriepack und der energieintensiven Herstellung sehr stark.

Recyclingprozesse können selektiv auf bestimmte Zielmaterialien ausgerichtet werden, um deren Rückgewinnung gegenüber anderen Materialien zu erhöhen. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen müssen dabei regelmäßig angepasst werden, um diese Selektivität neben Anreizen aus dem Markt auch an klare ökologische und strategische Ziele zu koppeln. Beispielsweise könnte auch für weitere Materialien wie Kunststoffe und Elektrolyte über spezifische Rückgewinnungsquoten nachgedacht werden, falls dies sich in Zukunft als technisch möglich, ökologisch sinnvoll, aber wirtschaftlich nur bedingt tragfähig erweisen sollte.

Dies ist besonders zentral, da sich die Batteriechemien noch ständig verändern und zum Teil weiter je nach Anwendung diversifizieren. Beispiele sind der erhöhte Anteil von Batteriezellen mit Lithium-Eisen-Phosphat als Kathodenmaterial, der wachsende Siliziumanteil in der Anode und das steigende Interesse an Natrium-Ionen- oder Festkörper-Batterien. Die zukünftigen Recyclingprozessketten sollten mit steigender technologischer Komplexität und Diversität von Energiespeichern entweder robuster oder flexibler/modularer ausgelegt werden, da voraussichtlich weitere neue Materialien mit sehr unterschiedlichen Anforderungen (größere Härte, hohe Reaktivität, hohe adhäsive Bindung der Elektroden etc.) in die Recyclingströme gebracht werden.

Sehr entscheidend bei den gesetzlichen Regelungen sind auch gute Definitionen, z. B. der Recyclingeffizienz. Die Vorgaben der Batterieverordnung differenzieren bisher bei der Recyclingeffizienz nicht zwischen Zell, Modul- und Packebene. Alle Bestandteile sind zunächst Teil der Berechnung, wenn sie nicht durch delegierte Rechtsakte explizit ausgeschlossen werden. Mit der Einführung des Batteriepasses werden dem Recycling bestimmte Informationen zur Zusammensetzung der Batterien zur Verfügung gestellt. Für eine konsistente Ermittlung der Recyclingeffizienz für den Gesamtprozess und die Einzelfraktionen wird die detaillierte Zusammensetzung des Batteriemoduls in Form von Massenanteilen auf Komponenten- (Kathodenaktivmaterial, Anodenaktivmaterial, Stromleiterfolien, Elektrolyt, Separator, Gehäuse, etc.) und

Stoffebene (Aluminium, Kupfer, Nickel, Lithium, Graphit, etc.) benötigt. Nur auf diese Weise ist eine Bilanzierung zwischen Input und Output möglich. Die spezifische Recyclingeffizienz beispielsweise von Lithium setzt sich dann aus der Masse an Lithium im Lithiumsalz-Rezyklat (Recyclingprodukt) über der Masse an Lithium im Batteriemodul (Recyclinggedukt) zusammen. Die zukünftige Vergleichbarkeit der Güte von Recyclingprozessrouten hängt damit auch von der Verfügbarkeit dieser Daten ab und dem Willen der Mitgliedsstaaten, diese auch zu erheben.

Dabei ist es wichtig nicht nur den Mitgliedsstaaten Quoten vorzugeben, sondern dass diese auch mit konkreten Maßnahmen hinterlegt werden, sodass diese auch erreicht werden. Andernfalls ist zu besorgen, dass es zu einem ähnlichen Ergebnis kommt wie bei der Sammelquote der Elektroaltgeräte, die Deutschland seit Jahren deutlich verfehlt.

Eine einheitliche Gestaltung von Batterien (Material, Zelltyp, etc.) mindert die Varianz im Eingangsstrom für das Recycling und erleichtert die Datenerfassung und -auswertung. Dies ermöglicht so eine gute Prozessanpassung an einen bestimmten Produkttyp und damit höhere Ausbeute und Reinheit im Vergleich zu robusten Recyclingprozessen für eine Vielzahl unterschiedlicher Batterien. Dies hemmt jedoch auch die technologische Weiterentwicklung. Der Gesetzgeber sollte Anreize bieten, die Varianz der auf dem Markt verfügbaren Batterietypen so zu limitieren, damit ausreichend fähige Recyclingprozesse für diese zur Verfügung stehen, ohne dabei die technologische Weiterentwicklung von Batterien zu hemmen.

Darüber hinaus kann die Digitalisierung allgemein zur Erhöhung und Überwachung der Recyclingquoten auf verschiedene Arten beitragen, zum Beispiel durch die kontinuierliche Überwachung und automatische Regelung aller kritischen Prozessparameter für Idealbedingungen und Fehlervermeidung, durch die Erstellung datengetriebener Modelle zur Prozessoptimierung und Anpassung der Betriebsparameter für maximale Ausbeuten sowie digitales Material-Tracking für Rückverfolgbarkeit und gezielte Logistik-/Prozessoptimierung basierend auf Materialdaten.

Der Gesetzgeber sollte Rahmenbedingungen für risikoarme Kooperationen zwischen Batterieherstellern und -recyclern schaffen. Hersteller werden so befähigt recyclingfähigere Produkte zu entwickeln, während die Recycler durch hohe Informationstransparenz über die zu recycelnden Produkte in der Prozessgestaltung und -auslegung profitieren. Dies sollte, gekoppelt mit einer zu erwartenden Recyclingeffizienz, für die Batterie im Optimalfall vor dem Inverkehrbringen geschehen. Dies könnte durch eine Informationsplattform gekoppelt an den Batteriepass passieren.

### 3.2 Handlungsempfehlung 2: Informationsweitergabe entlang der Wertschöpfungskette

Die Wertschöpfungskette einer Batterie zieht sich von der Gewinnung der Rohstoffe, über die Produktion der Batterie, deren Nutzung in einer oder mehrerer aufeinanderfolgenden Anwendungen bis zum Recycling. Dabei können Daten über die einzelnen Schritte die Kreislaufwirtschaft in ihrer erweiterten Definition voranbringen, wenn diese über die verschiedenen Schritte den zentralen Akteuren zur Verfügung gestellt werden.

Beispiele stellen Felddaten aus der Erstnutzung dar. Diese sollten Verwertern für eine Zweitnutzungsphase in ausreichendem Detailgrad für felddatenbasierte Analysen zur

Verfügung gestellt werden, um die Chancen für ein Geschäftsmodell rund um die Zweitnutzung von Batterien zu erhöhen und damit die Lebensdauer der Batterien zu verlängern (intensivierte Nutzung). Entscheidend ist dabei der Zugriff auf das Batteriemanagementsystem, welches im Zweifelsfall auch die Weiternutzung und die optimierte Entladung ermöglicht.

Die Schaffung umfangreicher öffentlich verfügbarer Datensätze aus dem Feld und aus Alterungstests stellt einen großen Mehrwert dar und sollte entsprechend gefördert werden. Der Mehrwert liegt vor allem in der Möglichkeit, basierend auf diesen Daten die Batterien langlebiger gestalten zu können und auch gesetzliche Regulierung basierend auf diesen Daten anzupassen. Ein Beispiel können verpflichtende Garantien sein.

Für den einzelnen Akteur sind spezifische Daten der vorliegenden Batterie essenziell. Dies gilt nicht nur für die Entscheidung über eine mögliche Zweitnutzung, sondern auch für die optimierte, ggf. automatisierte Demontage und das Recycling. Für die Einschätzung des Risikos, welches von einer Altbatterie ausgeht, sind Daten über den Gesundheitszustand (SOH<sup>4</sup>) und den Ladezustand (SOC<sup>5</sup>) wichtig. Für eine (zukünftig automatisierte) Demontage ist eine Datenbasis in Form von Bildern der Demontage hilfreich. In Zukunft können darüber beispielsweise neuronale Netzwerke angelernt werden. Unbekannte Batterietypen können bisher nicht (teil-)automatisiert demontiert werden, sondern die Software muss die Demontage eines bestimmten Batterietyps erlernen. Dafür sind auch CAD-Modelle<sup>6</sup> der Batterie nützlich.

Auch beim Recycling selbst kann die computergestützte Datenverarbeitung sehr hilfreich sein. Erst mit der Verknüpfung von Prozess- und Materialflussdaten lassen sich Material- und Energieströme über Recyclingprozessketten hinweg rückverfolgen. Das Konzept der Cyber-Physischen Recyclingsysteme bietet einen strukturierten Ansatz für die Digitalisierung von Recyclingprozessinfrastruktur. Für einen standortübergreifenden Datenaustausch sind technische und organisatorische Rahmenbedingungen für offene Schnittstellen zu schaffen sowie Datenstrukturen zu synchronisieren.

Zu einem guten Batterierecycling tragen nicht nur die Recycler bei. Diese sind auf Informationstransparenz und Kooperation mit den Batterieherstellern angewiesen. Insbesondere die Schaffung von Datenschnittstellen für automatisierten Datenzugriff zwischen den Akteuren im Batterieökosystem können ein wichtiger Hebel in der Erreichung ambitionierter Recyclingquoten sein.

Das Zusammenspiel der Akteure benötigt auch Definitionen der Qualitätsansprüche an die Stoffströme, um die benötigte Qualität der Wiedereinführung in die Produktion sicherzustellen. Dabei können Standards bzgl. der Materialqualität eine wichtige Rolle spielen, z. B. für Schwarzmasse als ein Zwischenprodukt der Recyclingindustrie, welches die meisten kritischen Rohstoffe enthält. Dafür sollten auch Handelsqualitäten genormt werden. Jedoch ist mit aller Wahrscheinlichkeit noch immer eine intensive Abstimmung innerhalb einer Handelsbeziehung notwendig, um die Prozesse aufeinander abzustimmen, da bei Schwarzmasse sehr viele Parameter relevant sind.

---

<sup>4</sup> Engl. State of Health

<sup>5</sup> Engl. State of Charge

<sup>6</sup> CAD steht für Computer Aided Design, also Konstruktionen erstellt mithilfe von bestimmter Software

Die Wahl der Prozessschritte und deren Reihenfolge hat entscheidende Auswirkungen auf das Rückgewinnungs- und Reinheitspotenzial sowie den Energie- und Hilfsstoff- bzw. Prozessmedienbedarf des Recyclings. Anforderungen der nachgelagerten Prozessschritte müssen an die vorgelagerten Prozessschritte kommuniziert werden. Beispielsweise muss die Hydrometallurgie unerwünschte Verunreinigungen und deren obere Grenzwerte für die zu verarbeitende Schwarzmasse für die mechanische Aufbereitung bzw. Pyrolyse angeben.

### 3.3 Handlungsempfehlung 3: Design für Recycling und Wiederverwendung/Umnutzung

Für eine Verwendung eines Batteriesystems bzw. einer Batteriezelle in einer weiteren Anwendung stehen große Hürden entgegen. Gleichzeitig sind die möglichen Einsparungen erheblich, wenn die Batterien in einer erneuten Anwendung neue Batterien ersetzen oder die Dekarbonisierung unterstützen. Um Batterien eine Wiederverwendung oder Umnutzung zu ermöglichen, ist vor allem eine geringe Alterung über die Zeit bzw. über die aktive Nutzung entscheidend (kalendarische bzw. zyklische Alterung).

Eine lange Lebensdauer geht häufig auf Kosten anderer Parameter, z. B. der Energiedichte oder den Kosten pro speicherbare Energie. Dafür müssen die Batterien demnach ausgelegt werden. Die Auslegung von Batteriesystemen auf eine lange Lebenszeit hat auch andere positive ökologische Auswirkungen, wenn sie damit länger in ihrer ersten Nutzung verbleiben kann. Dies sollte demnach regulatorisch gefördert werden.

Die Normierung und Standardisierung des Batteriedesigns kann für eine optimierte Reparatur bzw. ein Austausch einzelner Zellen oder Module, eine leichtere (automatisierte) Demontage und ein verbessertes Recycling entscheidend sein. Es sollten Anstrengungen unternommen werden, um die Normierung und Standardisierung auch über verschiedene Hersteller hinweg voranzubringen. Besonders für eine automatisierte Demontage ist die Zugänglichkeit zu Komponenten und Verbindungselementen entscheidend, sodass ein Roboter an die Verbindungen gelangen, diese lösen und Komponenten entnehmen kann.

### 3.4 Handlungsempfehlung 4: Unterstützung der Wiederverwendung/Umnutzung

Wenn Batteriesysteme das Ende ihrer ersten Anwendung erreicht haben, sollte eine Überprüfung stattfinden, inwiefern diese in der gleichen Anwendung wiederverwendet bzw. einer anderen Anwendung (Umnutzung) zugeführt werden können. Damit dies einfacher realisiert werden kann, sollte bei der Überführung eines Batteriesystems ein Grund für das Ende der ersten Anwendung angegeben werden, um noch funktionsfähige Systeme bzw. Batteriezellen mit geringer Alterung besser identifizieren zu können. Dies kann auch im Rahmen des Batteriepasses geschehen.

Das gleiche gilt für Daten zur verwendeten Zellchemie bzw. Zellgeneration, besonders wenn diese innerhalb eines Modells Änderungen erfährt. Diese sollten bestimmten Akteuren in diesem Feld in einer Dokumentation standardisiert zur Verfügung gestellt werden, um diesen die Gruppierung gleichartiger Systeme zu ermöglichen.

Zur Einstufung und Gruppierung der Batteriesysteme für eine weitere Nutzung können Felddaten aus der Erstnutzung sehr hilfreich sein. Diese sollten Verwertern für eine Zweitnutzungsphase in ausreichendem Detailgrad für felddatenbasierte Analysen zur Verfügung gestellt werden.

Zur Reduzierung des Umrüstaufwandes kann eine Weiternutzung des Batteriemanagementsystems in Betracht gezogen werden. Dies setzt jedoch den Zugriff auf die oft proprietäre Kommunikationsschnittstelle voraus. Durch öffentlich zugängliche Kommunikationsprotokolle kann hier der Umrüstaufwand deutlich verringert werden.

### 3.5 Handlungsempfehlung 5: Gesamtsystembewertung

Durch die Nutzung entsprechender zusammengeführter digitaler Simulationen können die Potenziale neuer Materialien auf Systemebene in relevanten Anwendungen und damit die ökologischen Auswirkungen sehr schnell abgeschätzt werden. Dies könnte in Zukunft nicht nur für Investitionsentscheidungen, sondern auch für staatlich geförderte Projekte als Grundlage dienen. Für Letztere müsste dies als Kriterium genannt werden.

Die Forschung in den Clusterprojekten hat auch einige Zielkonflikte aufgedeckt. Zum Beispiel können die Quoten für die Nutzung von Rezyklaten in der Batterieproduktion zu einem kurzfristigen Bedarf an Recyclingmaterialien führen. Dies ist zunächst gewünscht. Jedoch kann es auf Kosten einer ökologisch sinnvolleren Zweitnutzung gehen, falls die Batteriesysteme aufgrund des Anreizes direkt einem Recycling zugeführt werden.

Die Batterien in einem Fahrzeug können der Energiespeicherung für externe Zwecke genutzt werden. Dies wird unter dem Begriff V2X<sup>7</sup> zusammengefasst. Es hat sich gezeigt, dass diese Technologie große Potenziale zur Netzstabilisierung und Zwischenspeicherung von Energie hat. Daher sollte die Regulatorik für die Netzintegration von Batteriesystemen so angepasst werden, dass auch ein Einsatz flexibler und nicht dauerhaft verfügbarer Systeme im Netz möglich ist und wirtschaftliche Anreize bietet. Dafür sind auch einheitliche Standards und Protokolle notwendig, die vorangetrieben werden sollten, um eine flächendeckende Integration von Fahrzeugen in das Energienetz zu ermöglichen.

## 4 Ausblick

Aus den Ergebnissen der BMBF-Kompetenzcluster greenBatt und BattNutzung lassen sich einerseits die ermutigenden Fortschritte der Batterieforschung in Deutschland und die damit verbundene potenzielle Ausstrahlung auf die entsprechende industrielle Landschaft erkennen. Andererseits zeigen nicht zuletzt die in diesem Policy Brief formulierten Handlungsempfehlungen den dringenden Bedarf für eine verstärkte und gleichzeitig auf wichtige verbleibende Herausforderungen fokussierte, mit öffentlichen Mitteln unterstützte Batterieforschung deutlich auf. Dies gilt umso mehr in einer Zeit, in der Staaten und Unternehmen vornehmlich in Asien und Nordamerika mit erheblichen Mitteln die Forschung und Entwicklung und damit verbunden die industrielle Umsetzung von Innovationen beim Design, der Entwicklung und Herstellung, der Wiederverwendung und dem Recycling von Antriebsbatterien (Lithium-

---

<sup>7</sup> Vehicle to X

Ionen-Batterien und z. T. weitere Entwicklungen) weiterhin offensiv vorantreiben – nicht zuletzt um Marktanteile auf diesem dynamischen globalen Wachstumsmarkt zu sichern oder auszubauen.

Im Rahmen der BMBF-Kompetenzcluster greenBatt und BattNutzung haben zahlreiche Nachwuchswissenschaftler\*innen ihre wissenschaftlichen und fachlichen Kompetenzen und Erfahrungen deutlich ausbauen können. Es ist essenziell die Batterieforschung als zentrales Zukunftsthema für Deutschland anzuerkennen und entsprechend weitere und nachhaltige Perspektiven für neue Generationen an Nachwuchswissenschaftler\*innen in diesem Bereich zu schaffen. Diese Kompetenzträger\*innen sind die zukünftigen Gründer\*innen von Start-Ups, die zukünftigen Forschungs- und Betriebsleiter\*innen in Unternehmen und einige von ihnen auch die zukünftigen Hochschullehrer\*innen und Institutsleiter\*innen, die zukünftig selbst nachhaltig für gut ausgebildeten Nachwuchs und damit nicht zuletzt auch für industrielle und wirtschaftliche Prosperität in Deutschland sorgen werden.

---

## Öko-Institut e.V | Freiburg | Darmstadt | Berlin

Das Öko-Institut ist eines der europaweit führenden, unabhängigen Forschungs- und Beratungsinstitute für eine nachhaltige Zukunft. Seit der Gründung im Jahr 1977 erarbeitet das Institut Grundlagen und Strategien, wie die Vision einer nachhaltigen Entwicklung global, national und lokal umgesetzt werden kann. Das Institut ist an den Standorten Freiburg, Darmstadt und Berlin vertreten.

[www.oeko.de](http://www.oeko.de) | [info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)

### Kontakt

Dr. Matthias Buchert | [m.buchert@oeko.de](mailto:m.buchert@oeko.de)  
Dr. Johannes Klinge | [j.klinge@oeko.de](mailto:j.klinge@oeko.de)  
Jürgen Sutter | [j.sutter@oeko.de](mailto:j.sutter@oeko.de)

---