

# Pilotsteckbrief: Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien



Circular Economy  
Initiative  
Deutschland

Beitrag zum Bericht: „Ressourcenschonende  
Batteriekreisläufe – mit Circular Economy  
die Elektromobilität antreiben“

acatech, Circular Economy Initiative Deutschland,  
SYSTEMIQ (Hrsg.)



# Inhalt

<b>Projekt</b>	<b>2</b>
<b>1 Motivation und Zielsetzung</b>	<b>4</b>
1.1 Momentane Herausforderungen im System	4
1.2 Fokus und Definitionen des Pilotthemas	6
<b>2 Erfolgskriterien für die Implementierung</b>	<b>7</b>
2.1 Übersicht über einzubindende Akteure aus der Praxis	7
2.2 Berücksichtigung des relevanten Handlungsbedarfs bezüglich regulatorischer Rahmenbedingungen	7
2.3 Benötigte Qualifikationen zur Realisierung des Pilotprojekts	8
<b>3 Erwartete Potenziale des Pilotprojekts</b>	<b>9</b>
3.1 Einfluss auf das Zielbild 2030	9
3.2 Ökologische, soziale und wirtschaftliche Potenziale	9
<b>4 Roadmap für das Pilotprojekt Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien</b>	<b>10</b>
<b>5 Ausblick</b>	<b>13</b>
<b>Anhang</b>	<b>14</b>
Abkürzungsverzeichnis	14
Abbildungsverzeichnis	15
<b>Literatur</b>	<b>15</b>



## Projekt

### Herausgeber

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- Geschäftsstelle Circular Economy Initiative Deutschland (CEID)
- SYSTEMIQ Ltd.

### Leitung der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Dr.-Ing. Christian Hagelücken, Umicore
- Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade, Technische Universität Braunschweig

### Mitglieder der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Dr. Matthias Buchert, Öko-Institut e.V.
- Dr. Matteo Carrara, BMW
- Steven Daelemans, Covestro
- Prof. Dr. Helmut Ehrenberg, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Dr. Sarah Fluchs, PEM Motion
- Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann, Technische Universität Clausthal
- Georg Henneboel, SAP
- Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann, Technische Universität Braunschweig
- Dr.-Ing. Julia Hobohm, GRS Batterien
- Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)/ Technische Universität Berlin

- Dr. Michael Krausa, Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien
- Johanna Lettgen, Reverse Logistics Group
- Kerstin Meyer, Agora Verkehrswende
- Manuel Michel, Daimler
- Marcel Rakowski, Reverse Logistics Group
- Prof. Dr. Markus Reuter, Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR)
- Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Michael Schnell, Daimler
- Magnus Schulz, Daimler
- Dr. Paul Spurk, Umicore
- Sebastian Taubensee, Siemens
- Wassilij Weber, Interseroh
- Dr.-Ing. Hartmut Zefferer, Trumpf

### Inhaltliche Unterstützung der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Steffen Blömeke, Technische Universität Braunschweig
- Dr. Christian Bussar, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Juan Felipe Cerdas, Technische Universität Braunschweig
- Laura Gottschalk, Technische Universität Braunschweig
- Alexander Hahn, Technische Universität Braunschweig
- Elisa Reker-Gluhić, acatech/Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
- Dr. Jörn Kobus, SYSTEMIQ
- Bernd Muschard, Technische Universität Berlin
- Wolf Christian Schliephack, Technische Universität Berlin
- Dr. Florian Sigel, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Philipp Stöcker, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Dr.-Ing. Moritz Teuber, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Tilmann Vahle, SYSTEMIQ
- Dr. Reinhard von Wittken, CEID Geschäftsstelle/acatech
- Dr. Susanne Kadner, Leitung CEID Geschäftsstelle/acatech

## Koordination und Redaktion der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Tilmann Vahle, SYSTEMIQ
- Dr. Reinhard von Wittken, CEID Geschäftsstelle/acatech
- Dr. Jörn Kobus, SYSTEMIQ
- Yvonne Turzer, CEID Geschäftsstelle/acatech
- Dr. Susanne Kadner, Leitung CEID Geschäftsstelle/acatech

## Externe Reviewer der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Jonathan Eckhardt, Global Battery Alliance
- Prof. Dr. Sabine Flamme, Fachhochschule Münster
- Prof. Dr. Bernd Friedrich, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Prof. Dr. Achim Kampker, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Julia Poliscanova, Transport & Environment
- Prof. Dr. Alexander Sauer, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. Gerhard Sextl, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- Prof. Dr. Martin Winter, Westfälische Wilhelms-Universität Münster (WWU)

## Pilotsteckbrief III: „Demontage- netzwerk für Traktionsbatterien“

### Moderation

- Dr. Matthias Buchert, Öko-Institut e.V.

### Mitglieder

- Dr. Matteo Carrara, BMW
- Steven Daelemans, Covestro
- Dr. Sarah Fluchs, PEM Motion
- Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann, Technische Universität Clausthal
- Dr.-Ing. Christian Hagelüken, Umicore
- Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade, Technische Universität Braunschweig
- Manuel Michel, Daimler
- Marcel Rakowski, Reverse Logistics Group
- Michael Schnell, Mercedes Benz AG
- Dr. Paul Spurr, Umicore
- Sebastian Taubensee, Siemens
- Wassilij Weber, Interseroh

# 1 Motivation und Zielsetzung

Der Pilotsteckbrief III „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ ist im Zuge der Arbeiten der Arbeitsgruppe „Traktionsbatterien“ der *Circular Economy Initiative Deutschland* mit Fachleuten aus Wirtschaft und Wissenschaft (siehe Mitglieder der Unterarbeitsgruppe im Kapitel Projekt im Gesamtbericht) abgestimmt und ausformuliert worden. Der Pilotsteckbrief ist als fachlich begründeter Vorschlag an die zuständigen Ministerien der Bundesregierung aus der Sicht der Fachexpertise zu verstehen, da bezüglich des adressierten Themas hier ein wichtiger und notwendiger Beitrag für die essenzielle Optimierung der Kreislaufwirtschaft identifiziert worden ist.

## 1.1 Momentane Herausforderungen im System

Für die Verwertung von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen sind Demontageanlagen zum Testen, Entladen und Zerlegen der großen Lithium-Ionen-Batterien (im Falle von voll-elektrischen PKW handelt es sich hier um Batteriegewichte von mehreren hundert Kilogramm) eine wichtige und entscheidende Schnittstelle. Zum einen können hier größere Stückzahlen an Batterien zunächst auf ihre Eignung für eine Zweitnutzung (zum Beispiel als Fahrzeug-Ersatzbatterie oder als stationäre Energiespeicher) untersucht werden (Abbildung 1). Zum anderen werden in entsprechenden Anlagen die Lithium-Ionen-Batterien, die nicht für eine Zweitnutzung geeignet sind, mit hierfür geeigneter Infrastruktur wie Hebevorrichtungen, Rolltischen, Akkuschraubern, „Robotern“ etc. auf Modul-, gegebenenfalls bis auf Zellebene zerlegt.

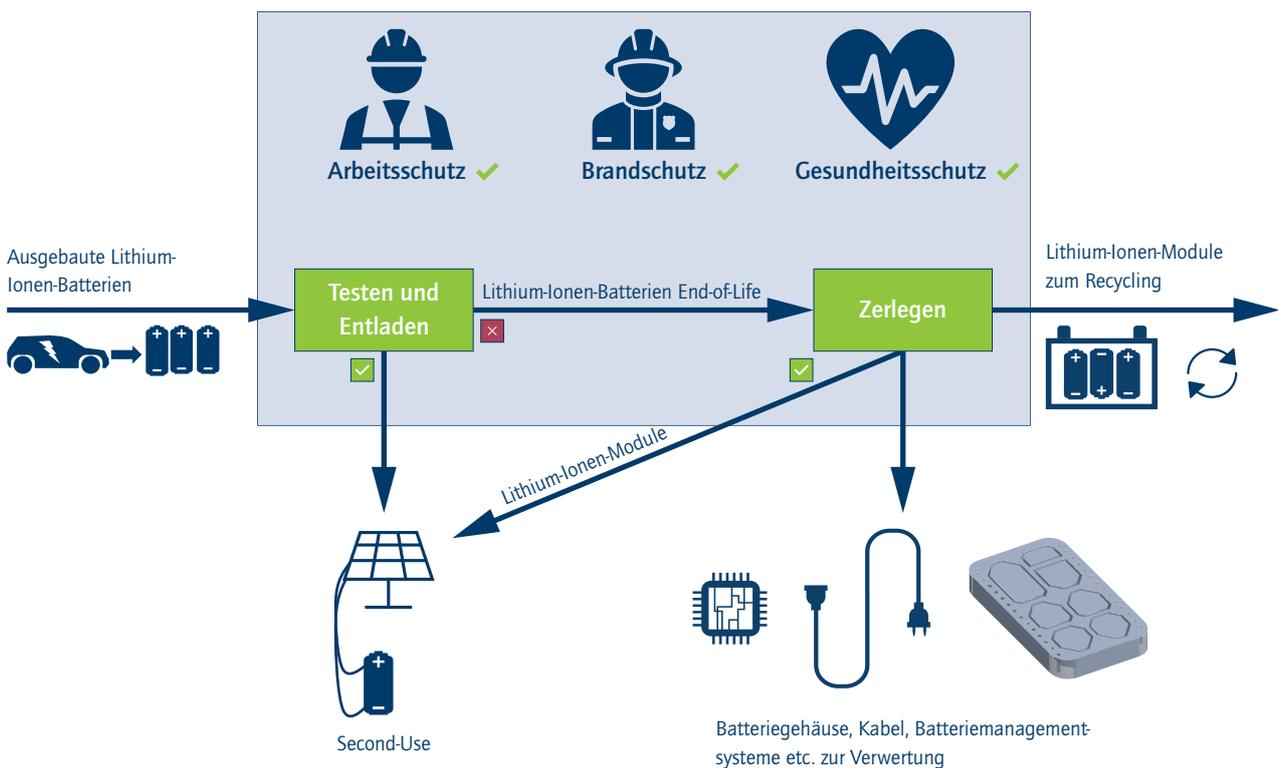


Abbildung 1: Konzept einer Demontageanlage für Traktionsbatterien (Quelle: eigene Darstellung)

Die separierten Peripheriekomponenten (Batteriegehäuse, Schrauben, Kabel, Batteriemanagementsystem etc.) sind wichtige Wertkomponenten, die nach ihrer Separierung direkt in bestehende Verwertungskreisläufe eingespeist werden können. Aus einer Reihe von Ökobilanzen zum Recycling entsprechender Lithium-Ionen-Batterien<sup>1, 2, 3, 4</sup> ist bekannt, dass die Verwertung dieser Komponenten sehr wichtige Beiträge für eine positive Gesamtbilanz des Recyclings beisteuern. Die ausgebauten Batteriemodule selbst werden je nach Lokalisierung der nachfolgenden Verwertung entweder am Ort der Demontageanlage weiter behandelt oder sie werden vorschriftsmäßig für den Transport zu einer externen Recyclinganlage verpackt. Durch das nachfolgende Recycling der Batteriemodule sollen Schlüsselmaterialien wie Lithium-, Nickel- und Kobaltsalze in batteriefähiger Qualität erneut der europäischen Wertschöpfungskette für Lithium-Ionen-Batterien bereitgestellt werden.

#### Notwendige Standards von Demontageanlagen

Die Mitglieder des Pilotprojekts III „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ stimmen überein, dass bezüglich des Brandschutzes, Arbeitsschutzes etc. übergreifende einheitliche Standards selbst innerhalb Deutschlands (geschweige denn EU-weit) für entsprechende Demontageanlagen noch weitgehend fehlen. Dies gilt auch für die notwendigen Qualifikationen der dort Beschäftigten. Notwendig ist demnach eine EU-weite Abstimmung von Mindeststandards zum Brandschutz, Gesundheits- und Arbeitsschutz für Demontageanlagen sowie zur notwendigen professionellen Qualifikation der dort beschäftigten Arbeitskräfte (unter anderem sind entsprechende Kurse zum sicheren Umgang mit Hochvoltssystemen wichtig).

#### Definition der räumlichen Dimension zur Betrachtung und Lösung von Problemen

Neben Herausforderungen bezüglich einheitlicher Standards und Anforderungen an die Demontageanlagen selbst besteht in der räumlich-logistischen Dimension in mehrfacher Hinsicht eine weitere Herausforderung innerhalb der europäischen Union:

- Der Hochlauf der Elektromobilität wird in den diversen Ländern Europas unterschiedlich steil verlaufen, wodurch auch der Anfall von End-of-Life-Batterien sehr unterschiedlich verteilt sein wird.
- Die Recyclinganlagen für Module aus Hochvoltbatterien werden bis auf Weiteres als große, zentralisierte Anlagen auf wenige EU-Länder konzentriert sein.

- Geringe Stückzahlen von End-of-Life-Batterien und hohe Transportdistanzen werden die Kosten für Logistik bis auf Weiteres hochhalten. Daher wird die zukünftige intelligente und optimale Lokalisierung und Dimensionierung von Demontageanlagen in Europa einen entscheidenden Schritt für die Professionalisierung der Verwertungskette und die Senkung der Logistikkosten darstellen.

Es besteht Übereinstimmung innerhalb der Mitwirkenden dieses Pilotprojekts, dass für eine möglichst optimale logistische Lösung des Recyclings oder der Zweitnutzung (Second Life) von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen europaweite Lösungen zielführend sind, das heißt:

- Es ist nicht sinnvoll, innerhalb nationalstaatlicher Grenzen zu agieren, es ist auch vor dem Hintergrund von Lösungsansätzen für die deutsche Wirtschaft in EU-Dimensionen zu planen.
- Daraus ergeben sich entsprechende Probleme nationaler Besonderheiten sowohl im Hinblick auf Sicherheitsstandards und weitere Vorgaben als auch bezüglich Notifizierungsverfahren für länderübergreifenden Transport und länderübergreifende Logistik etc.

#### Definition der zeitlichen Dimension zur Betrachtung und Lösung von Problemen

Unter den Mitwirkenden im Pilotprojekt „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ besteht Einigkeit, dass es sich bezüglich des notwendigen Aufbaus eines Netzes von Demontageanlagen in Europa um ein klassisches „Henne-Ei“-Problem handelt. Solange noch wenige End-of-Life-Batterien von Elektrofahrzeugen anfallen, ist der Anreiz für potenzielle Betreiber gering, Demontageanlagen zu errichten und zu betreiben. Andererseits bedeutet eine geringe Zahl von Demontageanlagen in Europa, dass allein aufgrund großer Transportentfernungen (von der Entnahme der Batterien aus den Fahrzeugen in Werkstätten, bis zur Demontageanlage) die spezifischen Logistikkosten und damit CO<sub>2</sub>-Emissionen des Transports sehr hoch sind. Da mit dem Markthochlauf der Elektromobilität entsprechend zeitversetzt – ausgehend von einem gegenwärtig sehr niedrigen Ausgangsniveau – in den nächsten 10 bis 15 Jahren ein erheblicher Anstieg an End-of-Life-Batterien aus der Elektromobilität in Europa zu erwarten ist, besteht die große Herausforderung darin, diese Übergangszeit (bis circa 2030/2035) möglichst optimal zu gestalten. Investitionsentscheidungen für neue Demontageanlagen müssen hinsichtlich

1 | Vgl. Buchert et al. 2011.

2 | Vgl. EcoBatRec 2016.

3 | Vgl. LithoREC I 2012.

4 | Vgl. LithoREC II 2016.



Zeitpunkt, Wahl des Anlagenstandorts und Dimensionierung der Anlagengröße entsprechend den künftig wachsenden Rücklaufmengen und der Konkretisierung der Anlagenausstattung (Grad und Anpassungsfähigkeit der Automatisierung hinsichtlich wechselnder Batterieformate und -chemien) auf einer validen Datengrundlage getroffen werden. So kann die Recyclinginfrastruktur passgenau verbessert und im europäischen Maßstab skalierbar gemacht werden.

#### Demontagedesign als Voraussetzung für eine stark automatisierte Zerlegung

Eine weitere Herausforderung für den Betrieb von Recyclinganlagen besteht schließlich in einem forcierten Demontagedesign (Design for Disassembly) als essenzieller Voraussetzung für eine zukünftig stark automatisierte Zerlegung. Derzeit müssen – nicht zuletzt aufgrund der sehr hohen Vielfalt im Design und vor allem der Art der Gehäuseverbindungen der Hochvoltbatterien – in den Demontageanlagen zeit- und arbeitskraftintensive, überwiegend manuelle Prozessschritte durchgeführt werden, um die Zerlegung auf Modul-, gegebenenfalls bis auf Zellebene zu realisieren.

Mit einem forcierten Design for Disassembly sollen bei zukünftig größeren Mengenströmen an End-of-Life-Batterien folgende Vorteile erschlossen werden:

- höhere Arbeitssicherheit und Effektivität
- Kostensenkungen
- Kapazitätserhöhungen bei drastisch ansteigenden Mengen anfallender End-of-Life-Batterien
- Zusatznutzen durch Weiterentwicklungen der Industrie 4.0<sup>5</sup>

#### Definition des gemeinsam zu organisierenden vorwettbewerblichen Bereichs, Notwendigkeit von Informationstransfer und -vereinheitlichung

- Sinnvoll ist eine Bündelung von Stoffströmen (Batterien und/oder deren Komponenten), um Transport, Lagerung und Behandlung ökonomisch effizient zu gestalten. Hierzu sind Abgrenzungen zwischen Einzel- und kooperativen Vorgehen abzustecken. Eine wesentliche Rahmenbedingung wäre dann im Hinblick auf freigegebene Informationen die Schaffung einer Art IDIS<sup>6</sup> for Batteries (International Dismantling Information System).

- Entnahme, Zustandsbewertung, Lagerung, Transport, Zerlegung, Sicherung etc. müssen einheitlich definiert werden sowie glaubhaft und vertretbar auch gegenüber Versicherungen (Brandschutzstandards) durchgesetzt werden können, um die Nebenkosten der Prozesse einzudämmen und allen Behandlern entlang der Kette die notwendigen Informationen und Sicherheitsaspekte mitgeben zu können.
- Im Sinne eines Demontagedesigns (Design for Disassembly) müssen Voraussetzungen für eine stark automatisierte Zerlegung bei größeren zukünftigen Mengenströmen geschaffen werden.

#### 1.2 Fokus und Definitionen des Pilotthemas

Im Rahmen des vorgesehenen Pilotvorhabens „Demontage-Netzwerk für Traktionsbatterien“ sollen konkrete Lösungsvorschläge zu folgenden Zielen erarbeitet werden, um den oben aufgeführten Herausforderungen zu begegnen:

- detaillierte Ausformulierung der notwendigen – europaweit gültigen Standards für Demontageanlagen für Lithium-Ionen-Batterien (Zerlegung auf Modul-, gegebenenfalls bis auf Zellebene) aus Elektrofahrzeugen: angemessene Sicherheitsstandards (Brandvermeidung- und -bekämpfung etc.), Arbeitsschutzstandards (angemessene Schutzausrüstung, Hilfsaggregate etc.), Gesundheitsstandards (angemessener Luftaustausch, guter Luftabzug an den Arbeitsplätzen etc.), angemessene Qualifikationen der Beschäftigten (Entwicklung der Inhalte geeigneter Zusatzausbildungen speziell für den Umgang mit Hochvoltbatterien aus dem Elektromobilitätsbereich)
- Ausformulierung der konkreten Anforderungen für ein Demontagedesign (Design for Disassembly) aus der Sicht der Demontagepraxis, um zukünftig stärker automatisierte Zerlegeverfahren zu ermöglichen
- Entwicklung konkreter Vorschläge für einen angemessenen europaweiten Hochlauf der Anzahl der Demontageanlagen und Logistikzentren bis 2035 (Definition von Mindestkapazitäten, optimaler Verortung, Zusammenarbeit mit Vertragswerkstätten und freien Werkstätten usw., Prüfung, ob Investitionsbeihilfen (European Investment Bank etc.) zielführend sind, um Investitionszurückhaltungen zu lockern etc.)

5 | So können sich durch eine umfassende Digitalisierung vielfältige Vorteile ergeben, wie zum Beispiel eine Steigerung der Transparenz bei der Produktnachverfolgung (siehe auch Pilotsteckbrief I „Kenntnis des Batterielebens“), Effizienzsteigerungen bei inner- und außerbetrieblichen Prozessen oder eine Steigerung der Anschlussfähigkeit im Hinblick auf nachgelagerte Wertschöpfungspfade (siehe auch Pilotsteckbrief II „Modellbasierte Entscheidungsplattform“).

6 | Vgl. IDIS 2020.

## 2 Erfolgskriterien für die Implementierung

Die folgenden aufgeführten Punkte sind Erfolgskriterien für die Realisierung des umfangreichen Pilotvorhabens „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“.

### 2.1 Übersicht über einzubindende Akteure aus der Praxis

Akteure aus den folgenden Bereichen sind für die Realisierung des Pilotvorhabens einzubinden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einzelne Akteure auch mehrere Funktionen abdecken können.

1. Akteure im Materialfluss
  - Fahrzeug(teile)hersteller
  - Vertragswerkstätten der Fahrzeughersteller
  - Freie Werkstätten
  - Batteriekomponentenhersteller
  - Batterie- beziehungsweise Zellhersteller
  - Autoverwerter
  - Logistiker
  - Demontagebetriebe
  - Refurbisher
  - Metallurgische Recycler
2. Stakeholder in der Peripherie
  - Service (IT, Tracing und Tracking, Monitoring, Reporting)
  - Maschinenbauer, die Vorrichtungen der Demontage bereitstellen. Diese unterstützt die Arbeiter bei der Demontage (zum Beispiel beim Heben der Batterie, Schrauben, Öffnen des Systems etc.)
  - Prüfinstanz, die mittels bestimmter Kriterien über die End-of-Life-Verwendung der Batterien entscheidet (siehe auch Pilotsteckbrief II „Modellbasierte Entscheidungsplattform“), Versicherer (insbesondere hinsichtlich der Gestaltung von Lager- und Brandschutzstandards)

- Wissenschaftliche Institutionen mit einschlägigen Erfahrungen im Bereich Recycling von Lithium-Ionen-Batterien
- Transportboxenhersteller

### 3. Regulatorik:

- Behörden für die Überwachung
- Behörden für die Gesetzgebung
- Behörden für die Grenzüberwachung (Zoll)

Für ein umfassendes Pilotvorhaben „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ sollte sich ein Konsortium aus dem Kreis der oben genannten Akteure zusammensetzen. Der Umfang sowie die Art und Intensität der Beteiligung (als Mitglied des Projektkonsortiums, Unterauftragnehmer, Mitglied des europäischen Begleitkreises) wären vor einer Einreichung einer konkreten Projektskizze abzustimmen.

### 2.2 Berücksichtigung des relevanten Handlungsbedarfs bezüglich regulatorischer Rahmenbedingungen

Innerhalb dieses Pilotprojekts wurden folgende relevante Handlungsbedarfe bezüglich regulatorischer Rahmenbedingungen für ein Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien identifiziert. Diese umfassen die Bereiche Abfallrecht, Gefahrgutrecht, die Bereiche Brandschutz, Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz sowie Demontage-design (Design for Disassembly):

- Harmonisierung nationaler (und sub- beziehungsweise supranationaler) Regulierungen zur Einstufung der Lithium-Ionen-Batterien als „gefährlicher“ Abfall<sup>7, 8</sup>
- Harmonisierung nationaler (und sub- beziehungsweise supranationaler) Behördenauslegungen zur grenzüberschreitenden Verbringung von Lithium-Ionen-Batterien als (unter Umständen gefährlicher) Abfall (via sogenannte „Gelbe Liste/Notifizierung“ versus „Grüne Liste“ gemäß Basel-Konvention)<sup>9, 10</sup>

7 | Siehe auf EU-Ebene: Index der Entscheidung der EU-Kommission Nr. 2000/532/EG, sogenannter „European Waste Code“. | Vgl. Europäische Union 2000.

8 | Siehe auf DE-Ebene: Index der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (AVV).Vgl. Bundesanzeiger 2001.

9 | Siehe auf EU-Ebene: Ratsbeschluss über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung von gefährlichen Abfällen und ihrer Entsorgung (Basler Übereinkommen) (93/98/EWG). | Vgl. EWG/EU 1993.

10 | Siehe Basel Convention on the control of transboundary movements of hazardous wastes and their disposal. | Vgl. United Nations Environment Programme 1989.



- praxisnahe und umsetzbare gefahrgutrechtliche Vorgaben für den Transport von sogenannten kritischen („nicht transportsicheren“) Lithium-Ionen-Batterien durch die national zuständigen Behörden (beispielsweise durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Deutschland)<sup>11, 12</sup>
- technische und administrative Lösungen für das Fast Tracking bei grenzüberschreitenden Transporten zertifizierter Akteure
- Standards und Richtlinien für die Handhabung und das Demontageverfahren, die das Design beeinflussen (Design for Disassembly)
- Arbeitssicherheitsstandards für das Handling der Batterie sowie Standards für hochwertige Demontageprozesse (Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz, Brandschutz)
- gesetzliche Regelungen zur Evaluation des Batteriezustands (zum Beispiel verunfallt, entladen)
- Entwicklung von gesetzlich verankerten Definitionen, die klären, wann eine Batterie „beschädigt“ ist
  - Hierzu gibt es bereits Standards je nach Zulieferer, aber keine eindeutige Unterscheidung (sondern nur eine Unterscheidung in Grün, Gelb, Rot für die Sicherheit der Handhabung)
- Regelungen zur professionellen Feststellung des Batteriezustands
  - Stichwort Batterie-Testing
- Regelungen zur Restladung (Remaining of Charge) und zum Batteriezustand (State of Health, SoH) für die Entscheidungsfindung für die Zweitnutzung oder das Recycling (siehe auch den Pilotsteckbrief II „Modellbasierte Entscheidungsplattform“)
- verpflichtende Regelungen zur Verfügbarkeit der Demontageanleitung (in digitaler Struktur)

### 2.3 Benötigte Qualifikationen zur Realisierung des Pilotprojekts

Ein Projektkonsortium „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ sollte durch seine Mitglieder folgende Qualifikationen abdecken:

- umfassende Erfahrungen und Kenntnisse bezüglich professioneller Recyclingkreisläufe für Lithium-Ionen-Batterien zur Rückgewinnung hochwertiger Batteriematerialien
- praktische Erfahrungen bezüglich Entladen, Testen, Bewerten im Hinblick auf Second Life und Zerlegen von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen (möglichst bereits vorhandene Infrastruktur hierzu)
- umfassende Erfahrungen und Kompetenzen hinsichtlich Arbeits- und Gesundheitsschutzanforderungen bei der Demontage von Traktionsbatterien sowie hinsichtlich Brandvermeidungs- und Brandbekämpfungsinfrastrukturen bei der Behandlung von Lithium-Ionen-Batterien
- umfassender Überblick über alle relevanten regulatorischen Rahmenbedingungen sowie erfahrungsgestützte Impulse für die Optimierung der Regulierungen
- Erfahrungen und Kompetenzen zur Erstellung von differenzierten Szenarien (Berücksichtigung von wesentlichen Unterschieden der einzelnen EU-Mitgliedstaaten) zu dem Markteintritt und dem Anfall von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen (gesamte Mengenstrompotenziale der Batterien, zusätzliche Schlüsselmaterialien wie Lithium, Nickel, Kobalt, Kupfer etc.)

11 | Siehe Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR).Vgl. UNECE 1957.

12 | Vgl. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung 2019.

## 3 Erwartete Potenziale des Pilotprojekts

### 3.1 Einfluss auf das Zielbild 2030

Zu folgenden Aspekten des Zielbilds 2030 (siehe Kapitel 3.3 im Gesamtbericht) soll das Pilotprojekt „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ einen substantziellen Beitrag leisten:

- Regulatorik: Einheitliche internationale Standards hinsichtlich der End-of-Life-Behandlung und -Logistik von Traktionsbatterien haben unlauteren Wettbewerb und Dumping weitestgehend unterbunden.
- Stoffströme: Bis 2030 wird ein kleiner (etwa zehn Prozent), aber steigender Anteil des Bedarfs für Schlüsselmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien durch Rezyklate gedeckt<sup>13</sup> und der CO<sub>2</sub>- und Umweltfußabdruck der Batterien wird dadurch verbessert.
- Technische Entwicklung: Design for Circularity/ Design for Recycling sind zum Industriestandard geworden und ermöglichen Wertschöpfungsnetzwerk-Teilnehmenden über den Lebenszyklus der Batterie hinweg eine sichere und effiziente Handhabung von Batterien für zirkuläre Geschäftsmodelle.
- Technische Entwicklung: Die zunehmende Automatisierung von Wartung und Demontage ermöglicht die Skalierung und Kostensenkung von Wiederverwendungs- und End-of-Life-Maßnahmen. Dennoch bleibt die Circular Economy für Traktionsbatterien ein Jobmotor, da auch in nahezu vollautomatischen Prozessen viel Fachwissen und menschliche Intervention notwendig bleiben.
- Innerbetriebliche Umsetzung: Der Aufbau effektiver Demontagenetzwerke (Demontage, Bewertung, Transport) hat eine effiziente, sichere Handhabung der rasch ansteigenden Mengen von End-of-Life-Batterien bewirkt. Dabei hat die frühzeitige Steuerung zu einer effizienten Kombination aus dezentralisierten Standorten für optimierte Reverse-Logistik und aus zentralen Anlagen für Skaleneffekte geführt.

Der Aufbau eines europaweiten Netzwerks von leistungsfähigen Demontageanlagen für Traktionsbatterien ist essenziell für

den Erfolg der gesamten Recycling- beziehungsweise Wiederverwendungskette, da es das wichtige Zwischenglied zwischen Erfassung und Sammlung (Vertragswerkstätten etc.) und der Weiterbehandlung sowie Recycling (oder Second Life) der Batteriemodule darstellt. Die moderne, möglichst automatisierte Zerlegung der Hochvoltbatterien in Anlagen, die hohen Brand-, Arbeits- und Gesundheitsschutzanforderungen Rechnung tragen und von hoch qualifiziertem Personal betrieben werden, muss ein wichtiger Markenkern der Recyclingwirtschaft in Europa werden.

### 3.2 Ökologische, soziale und wirtschaftliche Potenziale

Das Pilotprojekt „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ soll maßgeblich den Boden dafür bereiten, dass zukünftig europaweit folgende Potenziale aus der Verwertung der Lithium-Ionen-Batterien von Elektrofahrzeugen erschlossen werden:

- Ökologisch: Ein effizientes Netzwerk professionell ausgestatteter und betriebener Demontagezentren sorgt europaweit für eine optimale Zuordnung der Batteriespeicher für ein Second Life oder für eine an Zielfraktionen orientierte Demontage und ein nachfolgendes hochwertiges Recycling der Komponenten. Die gesamte Ökobilanz der Traktionsbatterien und der Elektrofahrzeuge insgesamt wird dadurch weiter verbessert und eine nachhaltige Rohstoffquelle von Schlüsselmaterialien für die Elektromobilität in Europa selbst erschlossen.
- Sozial: Durch die Optimierung dieses wichtigen Moduls einer Kreislaufwirtschaft von Traktionsbatterien werden zukunftsfähige Arbeitsplätze mit unterschiedlichen Anforderungsprofilen europaweit geschaffen.
- Wirtschaftlich: Das Pilotprojekt „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ soll einen maßgeblichen Beitrag zur optimalen Erschließung der Wertschöpfungsketten in diesem Bereich der Kreislaufwirtschaft leisten. Aufgrund optimierter Testverfahren werden Effizienzpotenziale einerseits für Erlöse erschlossen (Entscheidung Second-Life versus End-of-Life je Batteriesystem) und andererseits Kosten durch optimierte Demontageverfahren (unter anderem durch Design for Disassembly, automatisierte Zerlegung), die Vermeidung von Brandereignissen etc. und eine optimierte Logistik (Kombination aus dezentralen und zentralen Anlagen in am besten geeigneten Standorten) reduziert.



## 4 Roadmap für das Pilotprojekt Demontage- netzwerk für Traktions- batterien

Im Rahmen eines umfassenden Pilotprojekts „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ soll kurzfristig in einem dreijährigen Prozess eine detaillierte Roadmap für ein entsprechendes Demontagenetzwerk in Europa erarbeitet werden. Die Roadmap wird durch mittelfristige Maßnahmen mit einem zeitlichen Horizont bis 2030 ergänzt. In Abbildung 2 ist ein Vorschlag für die wesentlichen Arbeitspakete und ihre Bearbeitung visualisiert.

### Arbeitspaket 1: Erarbeitung und Auswertung eines szenariengestützten Hochlaufmodells für Demontageanlagen in Europa bis 2035

In diesem Arbeitspaket werden differenzierte Szenarien zu dem Markteintritt und zu dem Anfall von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen in Europa bis 2035 erstellt. Hierbei müssen sowohl die unterschiedlichen Charakteristika des Markthochlaufs und des Anfalls von Lithium-Ionen-Batterien in den einzelnen EU-Mitgliedstaaten für die Mengenströme Berücksichtigung finden als auch andere wichtige Größen wie etwa Trends in der Zellenzusammensetzung (Lithium, Nickel, Kobalt etc.). Für die Frage der notwendigen Verortung und Dimensionierung der Demontageanlagen in Europa bis 2035 („Demontagenetzwerk“) werden Interviews mit ausgewählten Akteuren aus der Automobilindustrie, dem Logistikgewerbe und der Recyclingwirtschaft geführt, um die aus den Szenarien errechneten Mengenströme an End-of-Life-Batterien in ein Hochlaufmodell für Demontageanlagen in Europa zu überführen. Diese Arbeiten sollen in einem frühen Stadium des Gesamtvorhabens durchgeführt werden, um den Verbundpartnern wichtige Impulse für die anderen Arbeitspakete zu liefern. Am Ende des Projektzeitraums soll eine kurze Überprüfungs- und Validierungsschleife der Szenarien erfolgen, um neueste Trends und Dynamiken bei Bedarf aufzunehmen.

### Arbeitspaket 2: Erarbeitung und Abstimmung angemessener Arbeits- und Gesundheitsschutzstandards für Demontageanlagen

Die Erarbeitung und Abstimmung angemessener Arbeitssicherheitsstandards (Arbeits- und Gesundheitsschutz) ist ein wesentlicher Baustein für moderne Demontageanlagen. Da in vielen Regionen und Mitgliedstaaten der Europäischen Union mit der Errichtung derartiger Anlagen industrielles Neuland

betreten wird und das Gefährdungspotenzial bei der Testung, Entladung und Zerlegung der Batterien (Hochvoltssysteme, mögliche Fluorwasserstoffemissionen etc.) nicht unterschätzt werden darf, sollen europaweit einheitliche Standards erarbeitet und vorgeschlagen werden. Auch für die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes soll gegen Ende des Vorhabens eine Validierungsschleife sicherstellen, dass die neuesten Erkenntnisse in die Arbeiten eingeflossen sind.

### Arbeitspaket 3: Erarbeitung und Abstimmung angemessener Brandvermeidungs- und Brandbekämpfungsstandards für Demontageanlagen

Brandereignisse mit zum Teil erheblichem Schadensausmaß sind im Zusammenhang mit dem Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien ein zunehmendes Phänomen und eine drängende Herausforderung in der Recyclingwirtschaft. Die Auflagen und Policen der Versicherungswirtschaft für die Betreiber steigen entsprechend und müssen in den Gesamtkosten des Batterie-recyclings berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wird nicht zuletzt aufbauend auf den Erfahrungen und Lernkurven von Praxisakteuren ein Manual für Brandvermeidungs- und Brandbekämpfungsstandards für Demontageanlagen ausgearbeitet. Eine europaweite Harmonisierung der Standards ist hier sehr wichtig, um Marktverzerrungen innerhalb Europas zu vermeiden.

### Arbeitspaket 4: Ausarbeitung und Abstimmung für passgenaue Zusatzqualifikationen von Beschäftigten in Demontageanlagen

Demontageanlagen für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen können nur sicher und effizient betrieben werden, wenn das Personal dieser Anlagen entsprechend optimal aus- und weitergebildet wird. In diesem Bericht haben mitwirkende Fachleute aus der Praxis hierzu bereits auf eine Reihe von bestehenden gravierenden Defiziten hingewiesen (zum Beispiel fehlende maßgeschneiderte Fortbildungsangebote), welchen in diesem Arbeitspaket qualifiziert entgegengearbeitet werden soll. Als Ergebnis dieses Arbeitspakets steht ein dezidierter Anforderungskatalog für die notwendige berufliche Grundqualifikation und für wichtige Zusatzausbildungen, die das Personal entsprechender Anlagen je nach Funktion (Betriebsleiter, Zerlegearbeiter etc.) erfüllen muss, um den relevanten Anforderungen zu genügen.

### Arbeitspaket 5: Design for Disassembly und automatisierte Zerlegung

Vor dem Hintergrund deutlich steigender Anfallmengen von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen in den nächsten 10 bis 15 Jahren in Europa besitzt eine stärker automatisierte Zerlegung ein hohes Potenzial für Effizienzsteigerungen und Kostensenkungen. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist, dass

die Erfahrungen und Anforderungen der Praxisakteure für die optimale Zerlegung in Impulse für ein optimiertes Design for Disassembly übersetzt werden. Ergebnis dieses Arbeitspakets ist ein Anforderungskatalog mit Prioritäten für ein Batteriedesign, welches ein späteres automatisiertes Zerlegen der Batterien nachdrücklich unterstützt – ohne die Funktionsfähigkeit der Lithium-Ionen-Batterien während der Nutzungsphase einzuschränken.

**Arbeitspaket 6: Abstimmung aller Arbeiten mit einem europäisch besetzten Begleitkreis**

Der Aufbau eines effizienten Demontagenetzwerks ist eine Aufgabe mit europäischer Dimension, da bereits heute – trotz noch

geringerer Mengenströme – die Recyclingströme von Hochvoltbatterien transnational in der Europäischen Union organisiert sind. Aus diesem Grund sollen alle Arbeiten in diesem vorgeschlagenen Vorhaben von einem Begleitkreis beraten werden, der sich aus Fachleuten diverser Disziplinen (Fahrzeug(teile)hersteller, Recyclingunternehmen, Regulatorik, Normung, Service Provider etc.) von Vertretern der Europäischen Kommission und aus unterschiedlichen Mitgliedstaaten zusammensetzt. Wichtig ist hier eine gute Repräsentativität der unterschiedlichen regionalen Cluster innerhalb der EU. Dieser europäische Begleitkreis soll nahezu über die gesamte Projektlaufzeit arbeiten, regelmäßig Zwischenergebnisse aus den unterschiedlichen Arbeitspaketen

Arbeitspaket	Zeithorizont				Horizont 1								Horizont 2				Horizont 3							
					2021				2022				2023				bis 2027				bis 2030			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4												
AP1: Szenariengestütztes Hochlaufmodell für Demontageanlagen in Europa													Aufbauend auf den Standards und Roadmaps: Mitgliedstaaten und EU-Kommission (sowie gegebenenfalls Europäische Investitionsbank) unterstützen gezielt Demontagenetzwerke, unter anderem finanziell, durch Unterstützung von Prototyping, regionaler Differenzierung etc.				Demontagenetzwerk vervollständigen bis zu hohem Reifegrad, um auf Rücklaufmengen 2030/2035 vorbereitet zu sein. Hierbei insbesondere strukturelle Unterstützung der südlichen und östlichen EU-Mitgliedsstaaten basierend auf Bedarfen aus Modellierungen							
AP2: Arbeits- und Gesundheitsschutzstandards für Demontageanlagen																								
AP3: Brandvermeidungsstandards und Brandbekämpfungsstandards für Demontageanlagen																								
AP4: Ausarbeitung passgenauer Zusatzqualifikationen von Beschäftigten in Demontageanlagen																								
AP5: Design for Disassembly für eine automatisierte Zerlegung																								
AP6: Abstimmung aller Arbeiten mit einem europäisch besetzten Begleitkreis																								
AP7: Ausarbeitung der Roadmap für ein Demontagenetzwerk für mobile Stromspeicher in Europa bis 2035																								

Abbildung 2: Mögliche Implementierungsschritte für die Etablierung eines europaweiten Demontagenetzwerks (Quelle: eigene Darstellung)



vorgelegt bekommen und darauf Empfehlungen für notwendige Anpassungen zwecks optimaler europäischer Harmonisierung von Standards und Regularien an das Projektteam geben.

#### Arbeitspaket 7: Ausarbeitung der Roadmap für ein Demontage- netzwerk für Traktionsbatterien in Europa bis 2035

Abschließend erarbeitet der Projektverbund aus den Ergebnissen aller Arbeitspakete gemeinsam einen Implementierungsplan für die Entwicklung eines effizienten Demontagenetzwerks für Traktionsbatterien in Europa mit der Zeitschiene bis 2035. Dadurch soll der Hochlauf der Elektromobilität mit einer angemessenen Roadmap für ein Demontagenetzwerk flankiert werden. Entsprechend den erwarteten Rücklaufmengen an

Hochvoltbatterien wird ein zeitlich gestaffelter Stufenplan für den Ausbau des Demontagenetzwerks aufgestellt, der alle Elemente der zuvor skizzierten Arbeitspakete umfasst. Die Roadmap soll klare Hinweise geben, wann, wo und mit welchen Kapazitäten bis 2035 in Europa Demontageanlagen errichtet werden müssen, welche Investitionen dafür benötigt werden und welche Finanzierungsmethoden zur Realisierung empfohlen werden können. Die Roadmap soll nicht zuletzt über die Kontakte des europäischen Begleitkreises sowohl auf Ebene der Mitgliedstaaten als auch der EU (Kommission, Europäisches Parlament, Industrieverbände) vorgestellt und für ihre Umsetzung im Kontext des European Green Deal nachdrücklich geworben werden.

## 5 Ausblick

Nach den übergreifenden Zielen des European Green Deal der Europäischen Union und den entsprechenden Zielen der Bundesregierung stellt die Optimierung der Kreislaufwirtschaft eine wichtige Stellschraube zur Schonung von Ressourcen und für einen forcierten Klimaschutz dar. Speziell eine optimierte

Verwertung (auch Wiederverwendung) von Lithium-Ionen-Batterien in Europa verspricht mittel- und langfristig ein erhebliches Potenzial zur Minderung der Abhängigkeit von außer-europäischen Rohstoffquellen sowie einen wichtigen Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz. Das Aufgreifen dieses Vorschlags für ein umfassendes Pilotprojekt „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ obliegt der Prüfung und Entscheidung durch die zuständigen Bundesressorts.



# Anhang

## Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Definition
ACES	Autonomous, Connected, Electric, Shared Mobility (autonome, vernetzte, elektrische, geteilte Mobilität)
BEV	Battery Electric Vehicle (batterieelektrisches Fahrzeug, in der Regel PKW)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAN	Controller Area Network
CE	Circular Economy
CEID	Circular Economy Initiative Deutschland
CEPS	Center for European Policy Studies
EC	Europäische Kommission
EE	Erneuerbare Energien
EGD	European Green Deal
ELV	End of Life Vehicle (Altfahrzeug)
EoL	End-of-Life (Ende des (ersten) Produktlebens)
EoU	End-of-Use (Ende der (ersten) Nutzungsphase)
EPR	Extended Producer Responsibility (erweiterte Herstellerverantwortung)
EU	Europäische Union
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug, in der Regel PKW)
GBA	Global Battery Alliance
HEV	(Mild) Hybrid Electric Vehicle; Hybridfahrzeug (ohne Möglichkeit der externen Ladung)
IIOT	Industrial Internet of Things
IP	Intellectual Property
KEA	Kumulativer Energieaufwand
LCA	Life Cycle Assessment
LFP	Lithium-Eisen-Phosphat
LIB	Lithium-Ionen-Batterien
LMO	Lithium-Mangan-Oxid
MaaS	Mobility as a Service
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
NCA	Nickel-Kobalt-Aluminium
NMC	Nickel-Mangan-Kobalt
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle; Plug-in Hybrid
PRO	Product Responsibility Organisations
ROI	Return on Investment
SL	Second Life
SoH	State of Health
TCO	Total Cost of Ownership, Lebenszeitkosten
THG	Treibhausgas
V1G	Smart Charging (gesteuertes unidirektionales Laden von Elektrofahrzeugen)
V2G/V2X	Vehicle-to-Grid/Vehicle-to-X (bidirektionales Laden zwischen Fahrzeug und Elektrizitätsnetz (V2G) beziehungsweise Heimspeichern und anderen Elektrizitätskonsumierenden (V2X))

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Konzept der modellbasierten Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)	6
<b>Abbildung 2:</b>	Modellstruktur der Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)	7

## Literatur

### **Buchert et al. 2019**

Buchert, M./Dolega, P./Degreif, S.: Gigafactories für Lithium-Ionen-Zellen – Rohstoffbedarfe für die globale Elektromobilität bis 2050, Darmstadt, 2019.

### **Buchert et al. 2011**

Buchert, M./Jenseit, W./Merz, C./Schüler, D.: Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – LiBRi, Darmstadt, 2011.

### **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung 2019**

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung: Damit Lithium-Batterien sicher unterwegs sind, 2019. URL: <https://www.bam.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Energie/damit-lithium-batterien-sicher-unterwegs-sind.html> [Stand: 30.06.2020].

### **Bundesanzeiger 2001**

Bundesanzeiger: Verordnung zur Umsetzung des Europäischen Abfallverzeichnisses 10.12.2001.

### **EcoBatRec 2016**

EcoBatRec: Demonstrationsanlage für ein kostenneutrales, ressourceneffizientes Processing ausgedienter Li-Ion-Batterien der Elektromobilität, 2016. URL: <http://www.ecobatrec.de/index.html> [Stand: 30.06.2020].

### **Europäische Union 2000**

Europäische Union: 2000/532/EG: Entscheidung der Kommission vom 3. Mai 2000 zur Ersetzung der Entscheidung 94/3/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß Artikel 1 Buchstabe a) der Richtlinie 75/442/EWG des Rates über Abfälle und der Entscheidung 94/904/EG des Rates über ein Verzeichnis gefährlicher Abfälle im Sinne von Artikel 1 Absatz 4 der Richtlinie 91/689/EWG über gefährliche Abfälle (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2000) 1147). Entscheidung 2000/532/EG 06.09.2000.

### **EWG/EU 1993**

EWG/EU: Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung. Beschluss 93/98/EWG 1993.

### **IDIS 2020**

IDIS: International Dismantling Information System, 2020. URL: <https://www.idis2.com> [Stand: 23.06.2020].

### **LithoREC I 2012**

LithoREC I: Recycling von Lithium-Ionen-Batterien, Braunschweig, 2012.

### **LithoREC II 2016**

LithoREC II: Recycling von Lithium-Ionen-Batterien – LithoRec II, Braunschweig, 2016.

### **UNECE 1957**

UNECE: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße. EDR 1957.

### **United Nations Environment Programme 1989**

United Nations Environment Programme: Basel Convention, 1989.



# Circular Economy Initiative Deutschland

## Herausgeber:

**acatech – Deutsche Akademie der  
Technikwissenschaften**  
Karolinenplatz 4  
80333 München

**Geschäftsstelle Circular Economy  
Initiative Deutschland**  
Karolinenplatz 4  
80333 München

**SYSTEMIQ Ltd**  
69 Carter Lane  
London EC4V  
United Kingdom

## Reihenherausgeber:

**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2020**

Geschäftsstelle  
Karolinenplatz 4  
80333 München

T +49 (0)89/52 03 09-0  
F +49 (0)89/52 03 09-900

info@acatech.de  
www.acatech.de

Hauptstadtbüro  
Pariser Platz 4a  
10117 Berlin

T +49 (0)30/2 06 30 96-0  
F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro  
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13  
1000 Brüssel (Belgien)  
T +32 (0)2/2 13 81-80  
F +32 (0)2/2 13 81-89

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl, Dr. Stefan Oschmann, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

Diese Kurzfassung entstand auf Grundlage von: Circular Economy Initiative Deutschland, 2020: Ressourcenschonende Batteriekreisläufe – mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben. Kwade, A., Hagelüken, C., Kohl, H., Buchert, M., Herrmann, C., Vahle, T., von Wittken, R., Carrara, M., Daelemans, S., Ehrenberg, H., Fluchs, S., Goldmann, D., Henneboel, G., Hobohm, J., Krausa, M., Lettgen, J., Meyer, K., Michel, M., Rakowski, M., Reuter, M., Sauer, D.U., Schnell, M., Schulz, M., Spurk, P., Weber, W., Zefferer, H., Blömeke, S., Bussar, C., Cerdas, J., Gottschalk, L., Hahn, A., Reker-Gluhić, E., Kobus, J., Muschard, B., Schliephack, W., Sigel, F., Stöcker, P., Teuber, M. und Kadner, S. acatech/SYSTEMIQ, München/London.

Die Publikation ist erhältlich unter [www.circular-economy-initiative.de](http://www.circular-economy-initiative.de) und [www.acatech.de/publikationen](http://www.acatech.de/publikationen).



