

Positionspapier



Ressourceneffizienz für Elektrofahrzeugbatterien

Stärkung von Ökodesign, Wiederverwendung, Reparatur und
hochwertigem Recycling

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Mangelnde Integration der Abfallhierarchie in Europäischer Gesetzgebung.....	4
Maßnahmen für die Förderung der Ressourceneffizienz von Elektrofahrzeugbatterien auf den oberen Ebenen der Abfallhierarchie	5
1. Verbesserungen im Ökodesign	5
2. Förderung der Wiederverwendung	10
3. Förderung der Reparatur	14
4. Erfolgreicher Batteriepass und starke Verbraucher:innen- information	15
5. Erweiterte Produktverantwortung und zuverlässige Sammlung	16
6. Hochwertiges Recycling	17
7. Förderung von Forschung und Entwicklung.....	18
8. Anpassungen im Mobilitätsverhalten.....	20
9. Verbindliche Ressourcen- Reduktionsziele	21
10. Verlässlicher Vollzug.....	21

Kurzprofil Deutsche Umwelthilfe e.V.

Die Deutsche Umwelthilfe (DUH) ist ein anerkannter Umwelt- und Verbraucherschutzverband, der sich seit 1975 aktiv für den Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen und die Belange von Verbraucher*innen einsetzt. Wir sind politisch unabhängig, gemeinnützig, und engagieren uns auf nationaler und europäischer Ebene. Bekannt sind wir zum Beispiel für unsere Rolle bei der Aufdeckung des Diesel-Skandals oder bei der Einführung eines Pfandsystems für Einweggetränkeverpackungen in Deutschland. Im Bereich Kreislaufwirtschaft setzen wir uns für Abfallvermeidung, einen verantwortlichen Konsum und eine nachhaltige Wirtschaftsweise ein. Weitere Informationen unter www.duh.de.

Einleitung

Die Antriebswende hin zu batteriebetriebenen Fahrzeugen spielt eine entscheidende Rolle bei der Reduzierung von CO₂-Emissionen und Luftverschmutzung im Verkehrssektor. In der Gesamtbeurteilung haben Elektrofahrzeuge geringere Klima- und Umweltauswirkungen als vergleichbare Verbrennungsfahrzeuge.¹ Allerdings stellen Elektrofahrzeuge kein Allheilmittel dar, da auch ihre Produktion, Nutzung und Entsorgung mit ökologischen Auswirkungen einhergeht. So erfordert beispielsweise die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien (LIB) Rohstoffe wie Lithium, Kobalt und Nickel, deren Gewinnung mit erheblichen Umweltbelastungen verknüpft ist (z.B. ein hoher Verbrauch von Wasserressourcen, Schadstofffreisetzung und Belastungen von Ökosystemen). Daher ist es von entscheidender Bedeutung sicherzustellen, dass die Antriebswende nicht zu einer bloßen **Verlagerung von Umweltproblemen** führt. Eine konsequente Umsetzung der Abfallhierarchie hat hierbei großes Potenzial die Umweltauswirkungen von Elektrofahrzeugbatterien (EF-Batterien) drastisch zu reduzieren.

Die **Abfallhierarchie** ist eine in der EU-Abfallrahmenrichtlinie festgelegte Prioritätsreihenfolge, an der sich alle Gesetzgebungen im Bereich der Kreislaufwirtschaft orientieren sollten. Sie legt fest,

dass zur Minimierung nachteiliger ökologischer Auswirkungen Vermeidung sowie die (Vorbereitung zur) Wiederverwendung² gegenüber einem Recycling sowie einer sonstigen Verwertung zu bevorzugen sind. Daraus ergibt sich, dass ein bedeutendes Potenzial für Ressourceneffizienz von EF-



Abfallhierarchie aus der Abfallrahmenrichtlinie

Batterien insbesondere in den oberen Ebenen der Abfallhierarchie zu finden ist, beispielsweise durch eine Verringerung des Bedarfs, die Förderung von kleineren und leichteren Batterien, die Substitution kritischer Stoffe, die Reparatur, die Wiederverwendung sowie eine effektive Sammlung als Voraussetzung für hochwertiges Recycling. Nur durch eine ganzheitliche Herangehensweise mit Maßnahmen auf allen Ebenen der Abfallhierarchie

können die Umweltauswirkungen von EF-Batterien wirksam minimiert werden.

Mangelnde Integration der Abfallhierarchie in Europäischer Gesetzgebung

Aus Sicht der DUH berücksichtigen sowohl bestehende Gesetzestexte als auch aktuelle Gesetzesvorschläge die Abfallhierarchie nur unzureichend und vernachlässigen wesentliche Maßnahmen der Ressourceneffizienz.

Die im Juni 2023 beschlossene **Batterieverordnung** gibt erstmals klare Vorgaben für den gesamten Lebenszyklus von EF-Batterien vor, wie etwa die Begrenzung der Treibhausgasemissionen bei der Herstellung oder Vorschriften zum Einsatz von Recyclingmaterial. Jedoch fehlen entscheidende Maßnahmen zur Förderung einer langen Lebensdauer, Reparatur- und Wiederverwendungsstrukturen sowie verbindliche Ökodesignvorgaben (Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit).³

Auch die im Mai 2024 verabschiedete Verordnung über kritische Rohstoffe (**CRMR**) verfehlt das Ziel, Ressourcenabhängigkeiten durch wirksame Kreislaufwirtschaft und den effizienten Einsatz von Primärrohstoffen zu senken.⁴ Statt Abfallvermeidung, Reparatur und Wiederverwendung zu priorisieren, liegt der Fokus auf der Förderung von Recycling als dritte Stufe der Abfallhierarchie.

In der im Juli 2023 von der EU-Kommission veröffentlichten Überarbeitung der EU-Richtlinie für eine Verordnung über Anforderungen an die Kreislaufwirtschaft bei der Fahrzeugkonstruktion und die Entsorgung von Altfahrzeugen (**VDEoL**) fehlt es an Maßnahmen zur Reduktion der Fahrzeuggröße, Abfallvermeidung und konkreten Ökodesignvorgaben, obwohl der Verordnungsvorschlag darauf abzielt, die Konstruktion von Fahrzeugen

nachhaltiger zu gestalten. Dies ist besonders problematisch, da die im Mai 2024 verabschiedete Ökodesignverordnung (**ESPR**) Fahrzeuge gänzlich ausschließt.



Die Umsetzung der Abfallhierarchie in aktuellen Gesetzgebungen hat entscheidende Defizite

Eine wichtige Gelegenheit zur Stärkung der oberen Abfallhierarchie in Bezug auf EF-Batterien würde ein „**Recht auf Reparatur**“ darstellen. Wichtige Elemente hierbei sind z.B. ein reparaturfreundliches Ökodesign sowie eine gute Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Softwareupdates. Der Vorschlag für ein EU-weites Recht auf Reparatur wurde vor Kurzem vom EU-Rat angenommen. Fahrzeuge sind aber nicht abgedeckt.

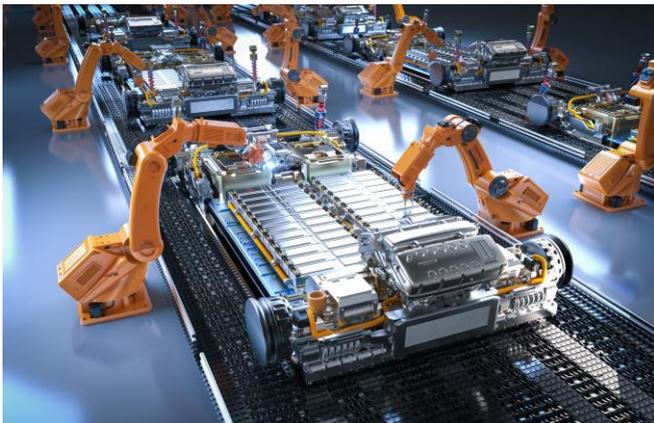
Die dargestellten Defizite in Bezug auf die Umsetzung der Abfallhierarchie in aktuellen Gesetzgebungen stellen ein großes Problem dar. Da durch die klimapolitisch notwendige Antriebswende die Produktionskapazitäten für Fahrzeugbatterien rasant ansteigen, sollten nun schnell wichtige rechtliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, um die ökologischen Folgen durch den ansteigenden Ressourcenbedarf wirksam zu begrenzen.

Dieses Papier stellt notwendige Maßnahmen zur Stärkung der oberen Ebenen der Abfallhierarchie im Bereich der EF-Batterie vor. Es analysiert Umweltpotentiale, spricht mögliche Hindernisse an und zeigt Lösungen für eine effektive Umsetzung der Maßnahmen auf.

Maßnahmen für die Förderung der Ressourceneffizienz von Elektrofahrzeugbatterien auf den oberen Ebenen der Abfallhierarchie

1. Verbesserungen im Ökodesign

Die Ökobilanz von EF-Batterien wird bereits innerhalb der Design- und Herstellungsphase ganz maßgeblich beeinflusst. Die Produktion herkömmlicher LIBs erfordert die energie- und umweltintensive Gewinnung einer Vielzahl kritischer Rohstoffe wie Lithium, Kobalt und Nickel. Zusätzlich entstehen bei der Herstellung dieser Batterien Treibhausgasemissionen von 40 - 350 kg CO₂ pro kWh Batteriekapazität.⁵ Es ist daher ganz entscheidend, dass Fahrzeugbatterien möglichst lang genutzt werden, um diese Umweltauswirkungen auf eine lange Nutzungsphase zu verteilen. Relevante Aspekte für das ressourceneffiziente Ökodesign von Fahrzeugbatterien sind daher ein umweltgerechter Rohstoffesatz, eine lange Haltbarkeit sowie eine gute Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit.



Ein ökologisches Design von Fahrzeugbatterien muss rechtlich verankert werden

Die neue **EU-Batterieverordnung** legt einige begrüßenswerte Ökodesignanforderungen an EF-Batterien fest, etwa Rezyklateinsatzquoten (Artikel

8) sowie Anforderungen an die elektrochemische Leistung und Haltbarkeit (Artikel 10). Aus Sicht der DUH müssen diese Regelungen jedoch um weitere Ökodesignaspekte ergänzt werden und relevante Details in delegierten Rechtsakten konkretisiert werden.

Sparsamer Einsatz von Rohstoffen

Für die Produktion von Fahrzeugbatterien sollte eine möglichst geringe Menge an primären Rohstoffen zum Einsatz kommen und die Gewinnung der eingesetzten Rohstoffe mit möglichst geringen Umweltauswirkungen in den Herkunftsländern einhergehen. Der Einsatz besonders problematischer Materialien, wie z. B. Kobalt oder Lithium, sollte bei der Batterieproduktion so weit wie möglich minimiert werden. Vor diesem Hintergrund ist der aktuelle Trend zu einer kontinuierlichen Zunahme des Gewichts von Fahrzeugen und Fahrzeugbatterien auf Lithium-Ionen-Basis hochproblematisch.⁶ Neue Batterietechnologien haben jedoch das Potential, negative Umweltauswirkungen durch die Substitution kritischer Rohstoffe zu reduzieren (siehe Abschnitt 7).

Um an diesen Punkten anzusetzen, schlägt die DUH vor, zunächst ein **Monitoring** zu etablieren, um den Rohstoffbedarf bei der Produktion von Fahrzeugbatterien besser zu erfassen (in Analogie zur Deklaration des CO₂-Fußabdrucks oder des Rezyklatgehalts in der Batterieverordnung Art. 7 & 8). Dabei sollten alle verwendeten Rohstoffe, deren recycelter Anteil und die Herkunftsländer der Primärrohstoffe offengelegt werden, beispielsweise über den auch für Verbraucher:innen einsehbaren Teil des Batteriepasses. Die in Artikel 8 (1) der EU-Batterieverordnung festgelegten und ab 2028 geltenden Transparenzpflichten gehen nach Ansicht der DUH nicht weit genug. Auf diesem Monitoring könnten Maßnahmen aufbauen, die die

Anwendung besonders ressourcenschonender Batterietechnologien fördern, sobald sich diese im Markt etablieren. Bisher ist in keiner Gesetzgebung (Batterieverordnung, EoLVD oder ESPR) geplant, Instrumente zur Reduktion des Einsatzes kritischer Rohstoffe zu entwickeln.

Rezyklateinsatz

Die Verwendung von **Rezyklaten** in der Herstellung kann erheblich zur Verringerung der Umweltauswirkungen von Produkten beitragen. Für EF-Batterien sind bereits sekundäre Materialien wie Stahl, Aluminium, Kobalt und Nickel auf dem Markt verfügbar⁷, aber hochwertige Recyclingverfahren für Altbatterien sowie der Einsatz dieser Rezyklate für die Batterieherstellung müssen weiter gefördert werden. Insbesondere der Einsatz von sekundärem Lithium, spielt dabei eine entscheidende Rolle, da die am Markt etablierten Batterietechnologien auf diesem Rohstoff aufbauen und der Bedarf drastisch steigt.⁸ Derzeit wird sekundäres Lithium fast ausschließlich aus Industrieabfällen hergestellt. In Artikel 8 (2) der EU-Batterieverordnung werden ab 2032 erstmals Rezyklateinsatzquoten für Lithium, Blei, Kobalt und Nickel in EF-Batterien gesetzlich vorgeschrieben und zu 2036 nochmals erhöht. Dies ist ein wichtiges Signal für die Recyclingwirtschaft, entsprechende Kapazitäten aufzubauen. Aus Sicht der DUH liegt ein entscheidender Aspekt hierbei jedoch bei der Berechnungsmethode: So sollten Abfälle aus der Batterieerzeugung (Post-Industrie-Rezyklat (PIR)) nicht zu den Rezyklateinsatzquoten hinzugezählt werden, damit diese Maßnahme auch tatsächlich die Nutzung von Post-Consumer-Rezyklaten (PCR) fördert, deren Recycling derzeit noch wirtschaftlich unattraktiv ist. Für das Recycling von Produktionsabfällen gibt es in der Regel bereits ausreichende ökonomische Anreize. Ein Ausschluss von PIR bei Rezyklateinsatzquoten würde außerdem Anreize

schaffen, das Ressourcenpotential von LIBs aus Elektroaltgeräten und Gerätebatterien effizienter zu nutzen.

Ein erhebliches Potenzial besteht außerdem im Bereich der Anwendung von Kunststoffrezyklaten, daher sollten auch hierzu verbindliche Rezyklateinsatzquoten in Fahrzeugbatterien festgelegt werden. Der EU-Entwurf zur VDEoL-Verordnung (13.07.2023) schlägt solche Quoten erstmals für Fahrzeuge vor, die Regelung würde aber Batterien nicht betreffen. Bei der Berechnung von Rezyklateinsatzquoten für Kunststoffe ist zusätzlich zu beachten, dass Techniken der Pyrolyse oder Vergasung nicht einbezogen werden sollten.⁹

Haltbarkeit

Eine lange Haltbarkeit ist ein Schlüsselaspekt für die Nachhaltigkeit von EF-Batterien, da sie die Umweltauswirkungen von Ressourcenverbrauch, Produktion und Entsorgung durch eine längere Lebensdauer mindert. Eine lange Haltbarkeit von Fahrzeugbatterien ist zudem eine wichtige Grundlage, damit Strukturen für Wiederverwendung oder Reparatur wirtschaftlich sind. Batterien sollten so konstruiert sein, dass sie unempfindlich gegen bestimmte Defekte oder schnellen Verschleiß sind.

Die DUH fordert, eine **Mindestlebensdauer von 15 Jahren** oder eine Fahrleistung von 300.000 km gesetzlich sicherzustellen, sodass am Ende dieser Zeit bei üblicher Nutzung noch eine Restkapazität von 70 Prozent vorhanden ist.

Da auch das Nutzungs- bzw. **Ladeverhalten** bei einigen Batteriechemien (z.B. LIBs) einen ganz erheblichen Einfluss auf den Verschleiß hat¹⁰, sollte ein schonendes Ladeverhalten durch Lademanagement und Informationen für Verbraucher:innen gefördert werden.¹¹ Erhebliche Potentiale eine

längere Lebensdauer zu erreichen haben auch alternative Batterietechnologien (siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).¹²

Die **EU-Batterieverordnung** (Artikel 10) legt eine wichtige Grundlage, die Leistung und Haltbarkeit von EF-Batterien zu regulieren. So sollen Parameter wie z.B. der Kapazitätsverlust und die voraussichtliche Lebensdauer der Batterie begrenzt werden. Diese Vorgaben müssen nun in Delegierten Rechtsakten schnellstmöglich konkretisiert werden, damit sie rechtzeitig wirksam werden.

Reparierbarkeit

Eine gute Reparierbarkeit ist eine wichtige Grundvoraussetzung für eine lange Nutzungsdauer von Fahrzeugbatterien und die Wiederverwendung. Sie muss daher unbedingt im Ökodesign der Batterie berücksichtigt werden. Die EU-Batterieverordnung (Artikel 77 bzw. Anhang XIII) enthält Vorgaben für Hersteller, Informationen zur Demontierbarkeit anzugeben. Allerdings ist dies aus Sicht der DUH nicht ausreichend, um eine gute Reparierbarkeit sicherzustellen. Dazu wären insbesondere Vorgaben für das Ökodesign nötig, die einen modularen Aufbau sowie zur **Entnehmbarkeit und Austauschbarkeit von einzelnen Batteriemodulen**



Potentiale des Ressourcenschutzes durch Reparatur ausnutzen

vorschreiben. Die von der Industrie häufig genannten Sicherheitsbedenken in Bezug auf die Austauschbarkeit auf Zellebene sollten durch die EU-Kommission wissenschaftlich geprüft werden, um Potentiale der ressourcenschonenden Reparatur nicht zu verschenken. In diesem Zusammenhang ist die derzeit präferierte Integration von sogenannten Cell-to-Pack-Modulen in der Fertigung problematisch, da sie die Reparierbarkeit erheblich erschwert.

Artikel 7 des Entwurfs zur VDEoL (13.07.2023) enthält einzelne Bestimmungen zur **Entfernbarkeit und Austauschbarkeit von EF-Batterien**, wie z.B. die Gewährleistung der zerstörungsfreien Entnahme der Batterie aus dem Fahrzeug. Die Vorgaben sollten sich jedoch nicht auf das Lebensende des Fahrzeugs beschränken. EF-Batterien müssen auch während der Nutzung einfach und zerstörungsfrei entfernt und ausgetauscht werden können, insbesondere zu Zwecken der Reparatur und Wiederverwendung. Weitere wichtige Maßnahmen zur Förderung der Reparatur werden in Abschnitt 3 vorgestellt.

Wiederverwendbarkeit

In erster Linie benötigt die Wiederverwendung von Fahrzeugbatterien gute technische Voraussetzungen. Dafür muss eine spätere Wiederverwendung von Anfang an im Designprozess berücksichtigt werden. Wichtige Kriterien hierzu sind beispielsweise eine lange Haltbarkeit, ein möglichst standardisierter, modularer Aufbau sowie eine gute Demontierbarkeit und Reparierbarkeit. Auch sollte es ein Verbot für Softwareblockaden geben, die eine Wiederverwendung erschweren. Weitere Maßnahmen zur Förderung der Wiederverwen-



Modularer Aufbau einer EF-Batterie kann Reparierbarkeit und Wiederverwendbarkeit verbessern

dung – insbesondere auch mit Hinblick auf notwendige durch Hersteller bereitgestellte Daten – werden in Abschnitt 2 vorgestellt.

Recyclingfähigkeit

Die Recyclingfähigkeit ist ein wichtiges Nachhaltigkeitskriterium, da sie dazu beiträgt, Rohstoffkreisläufe zu schließen und den Einsatz von Primärressourcen zu verringern. Daher muss dies beim Öko-design von Fahrzeugbatterien berücksichtigt werden, ohne Kriterien wie Haltbarkeit, Reparierbarkeit und Wiederverwendbarkeit zu vernachlässigen. Wichtige Maßnahmen zur Förderung der Recyclingfähigkeit von EF-Batterien sind die Gewährleistung einer guten Demontierbarkeit von Batteriekomponenten (z. B. durch Vermeidung von Materialverbänden), die Verwendung einheitlicher Materialien, eine gute Kennzeichnung und ein geringer Anteil an Schadstoffen und Verunreinigungen.

Die **EU-Batterieverordnung** macht erstmals Vorgaben für die Kennzeichnung von Batterien, z.B. bezüglich der chemischen Zusammensetzung sowie der enthaltenen gefährlichen Stoffe und kritischen

Rohstoffe (Artikel 13). Informationen zur Zerlegung sollen über den Batteriepass (Artikel 77 bzw. Anhang XIII) bereitgestellt werden. Diese begrüßenswerten Vorgaben müssen nun schnell in die Praxis umgesetzt werden und um verbindliche Vorgaben für ein recyclingfreundliches Batteriedesign ergänzt werden.

Standardisierung

Eine Weiterentwicklung der Standardisierung im Bereich der EF-Batterien und entsprechenden Komponenten ist erforderlich, um die Ressourceneffizienz zu verbessern. In der EU-Batterieverordnung fehlen Bestimmungen zur Förderung eines standardisierten Aufbaus und Designs von Fahrzeugbatterien und Komponenten vollständig. Auch der Entwurf für eine VDEoL (13.07.2023) enthält keine Ansätze, einen standardisierten Aufbau von Fahrzeugbatterien voranzubringen.

Die Standardisierung von Batterien und zugehörigen Komponenten kann erleichtern, dass sie für mehrere Fahrzeugtypen genutzt werden und unterstützt so auch ihre langfristige Verfügbarkeit. Darüber hinaus kann die spätere Aufrüstung von Fahrzeugen mit neu entwickelten Batterien vorangebracht und damit eine längere Fahrzeugnutzungsdauer ermöglicht werden. Insbesondere aber ist ein standardisierter Aufbau von Fahrzeugbatterien und Zellpaketen für die Förderung der **Wiederverwendung** von Fahrzeugbatterien relevant, da ähnliche Bauweisen und Funktionsweisen den Aufwand für die Nutzung im Second-Life erheblich senken. Die Standardisierung sollte so weit wie möglich innerhalb der Produktlinien der Hersteller, aber auch herstellerübergreifend unterstützt werden. Politische Instrumente sollten diese Entwicklungen voranbringen. Neben der Bau- und Funktionsweise ist eine Standardisierung auch in

Bezug auf Datenformate notwendig, die für Akteure aus den Bereichen Wiederverwendung, Reparatur und Recycling zur Verfügung gestellt werden.



Weiterentwicklung der Standardisierung kann zum Ressourcenschutz beitragen

Berücksichtigung des Ökodesigns Bei Beteiligungsentgelten

Zur Förderung der oben genannten Ökodesignkriterien können Lizenzentgelte, die in direktem Zusammenhang mit den Umweltauswirkungen der Fahrzeugbatterien gesetzt werden, ein wertvolles Instrument sein. Diese **Ökomodulation** der Lizenzentgelte sollte dabei so wirksam ausgestaltet sein, dass Hersteller dadurch tatsächlich Anreize erhalten, Produkte stärker nach ökologischen Kriterien zu designen. Auch sollten entsprechende Gebühren für die Verbraucher:innen sichtbar gemacht werden und der Zusammenhang zu Ökodesignkriterien deutlich kommuniziert werden (sog. sichtbare Gebühren), um einen Einfluss auf das Kaufverhalten zu ermöglichen. Als wichtige Parameter für die Ausrichtung von Ökomodulationsmaßnahmen z.B. in einem Bonus-Malus-System schlägt die DUH Parameter wie das Batteriegewicht, Haltbarkeit, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Verwendung von wiederverwendeten Teilen und Rezyklaten sowie die Recyclingfähigkeit vor.

2. Förderung der Wiederverwendung

EF-Batterien haben am Ende ihres ersten Lebens als Antriebsbatterie oft noch eine sehr gute Speicherkapazität zwischen 70 und 80 Prozent^{13,14} und eignen sich daher für einen mobilen oder stationären Einsatz als „Second-Life“-Batterie (SL-Batterie). Mögliche Anwendungsbereiche im Second-Life sind beispielsweise Energiespeicher von Photovoltaik- oder Windkraftanlagen, Notstromanlagen im kommunalen Stromnetz oder die Primärregelleistung im Stromnetzbetrieb.¹⁵ Für solche Energiespeicher im Stromnetz wird es durch den Ausbau der erneuerbaren Energien in Zukunft einen großen Bedarf geben. Um dieses Potential auszuschöpfen, sollten jetzt die Grundlagen für eine gute Wiederverwendbarkeit von EF-Batterien und eine gute Infrastruktur geschaffen werden.

Umweltentlastungspotential durch Wiederverwendung

Die Wiederverwendung einer EF-Batterie stellt gegenüber dem Recycling in der Regel die umweltfreundlichere Option dar, da die Umweltfolgen der Rohstoffgewinnung, Batterieherstellung und -entsorgung auf eine längere Nutzungsdauer verteilt werden. So können bei der Wiederverwendung von LIBs Materialien wie Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Kupfer, Aluminium und Graphit länger in der Nutzung bleiben, die bei einem vorzeitigen Recycling nur teilweise zurückgewonnen worden wären. Da die Wiederverwendung den Bedarf an neu produzierten Batterien senkt, ergibt sich insgesamt eine enorme Umweltentlastung, beispielsweise in Bezug auf Treibhausgasemissionen, Wasserverbrauch, Versauerung oder den Verbrauch abiotischer Ressourcen.¹⁶ Auch kann der Energie-

bedarf für das Recycling und die Neuproduktion einer Batterie hinausgezögert werden, woraus sich eine deutliche Energieeinsparung ergibt¹⁷.

Markt für die Wiederverwendung

Wenn die EU das erklärte Ziel der Klimaneutralität bis 2050 einhalten soll, werden bis 2030 schätzungsweise 970 GWh an netzweiter installierter Batteriespeicherkapazität benötigt. Dazu müsste der jährliche Zubau deutlich zunehmen, durchschnittlich fast 120 GW pro Jahr im Zeitraum 2023 bis 2030.¹⁸ Es ist sehr sinnvoll, für diesen Bedarf das Potential durch ausgediente Fahrzeugbatterien voll auszuschöpfen. In 2030 werden jährlich in der EU etwa 120.000 EF-Batterien aus Elektroautos als Abfallstrom anfallen, welche eine Speicherkapazität von ca. 8 GWh aufweisen.¹⁹ Dieses **Potential von Second-Life EF-Batterien** haben auch schon Unternehmen erkannt. Kasten 1 stellt eine Auswahl aktueller Geschäftsmodelle im Bereich der Wiederverwendung von Fahrzeugbatterien dar.

Darüber hinaus sind **Versicherungen** zunehmend wichtige Akteure, die beispielsweise nach einem Unfall aus Kostengründen ein hohes Interesse an der Wiederverwendung von Fahrzeugteilen wie EF-Batterien haben. Ein Best-Practice Beispiel ist Schweden, wo Versicherungen bereits mit Reuse-Akteuren zusammenarbeiten und den Reuse-Ersatzteilmarkt für Elektrofahrzeuge stärken.²⁰

Hindernisse in der Praxis überwinden

Automobil- und Batteriehersteller bevorzugen derzeit oft eine rasche Rückführung gebrauchter Batterien, um Rohstoffe schnell zu recyceln, da ein wirtschaftliches Interesse an den Batteriematerialien für Neuverkäufe besteht.²¹ Auch die **Komplexität des Wiederverwendungsprozesses** z.B. durch fehlende Daten, unterschiedliche Batterie-

zelltechnologien sowie Sicherheitsbedenken werden häufig als Argumente angeführt, warum Batterien nicht für die Wiederverwendung geeignet seien.²² Dabei liegt es insbesondere in der **Verantwortung von Produzenten**, die für eine sichere Wiederverwendung notwendigen technischen Daten zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich erschweren eine schlechte Demontierbarkeit, ein reparaturfeindliches Design sowie eine Vielzahl unterschiedlicher Batterieformate und Zelltechnologien eine Priorisierung der umweltfreundlichen Wiederverwendung. Es ist wichtig diese praktischen Hindernisse für die Wiederverwendung von EF-Batterien durch politische Instrumente und Marktentwicklungen rasch zu überwinden.

Einen Widerspruch zwischen der Erreichung von **Rezyklateinsatzquoten und Wiederverwendung** kann die DUH nicht feststellen: Es sinkt zwar einerseits die Menge an Altbatterien, die für ein Recycling zur Verfügung steht, gleichermaßen sinkt aber auch der Bedarf an neu zu produzierenden Batterien, sodass die für die Neuproduktion verfügbare Rezyklatmenge kaum durch eine vermehrte Wiederverwendung beeinflusst werden sollte. Politische Instrumente zur Förderung des Recyclings sollten allerdings so ausgestaltet werden, dass sie die Wiederverwendung nicht behindern.

Notwendige Maßnahmen zur Förderung der Wiederverwendung

Neben guten technischen Voraussetzungen durch Ökodesign (vgl. Abschnitt 1) benötigen unabhängige Akteure für eine erfolgreiche und wirtschaftliche Wiederverwendung leicht zugängliche **Herstellerinformationen**. Hierzu müssen diese die notwendigen technischen Daten erheben und unabhängigen Akteuren zur Verfügung stellen (z.B. technische Grunddaten, Daten zur Demontage, Daten zum Gesundheitszustand „State of health“).

» **Beeplanet** (Herstellung von Energiespeichersystemen)

Der spanische Anbieter BeePlanet stellt Energiespeichersysteme her, bei denen Elektrofahrzeugbatterien wiederverwendet werden. Die Batterien werden für Photovoltaik, Wind- und Off-Grid-Installationen für z.B. den Wohn-, Gewerbe- oder Industriebereich verwendet. BeePlanet hat direkte Vereinbarungen mit Automobilzulieferern/ Herstellern zur Sammlung und Wiederverwendung von gebrauchten Fahrzeugbatterien. Weitere Informationen unter: <https://beeplanetfactory.com/en/>.

» **Connected Energy** (Herstellung von Energiespeichersystemen)

Das britische Unternehmen Connected Energy entwirft und entwickelt Energiespeichersysteme mit gebrauchten Batterien aus Elektrofahrzeugen von Automobilpartnern. Ihre Second-Life-Systeme haben eine Reihe von Anwendungen, einschließlich der Speicherung von erneuerbarer Energie und der Verwaltung von Energielasten für Ladestationen für Elektrofahrzeuge für Gewerbe, Industrie und öffentliche Einrichtungen. Weitere Informationen unter: <https://connected-energy.co.uk/>.

» **Circunomics** (Software und Plattformdienstleister)

Das deutsche Unternehmen Circunomics bietet eine Software zur Analyse des Batteriezustands gebrauchter Fahrzeugbatterien an und betreibt einen Marktplatz für Second-Life und Recycling. Die Plattform unterstützt so die Vernetzung von Akteuren und fördert Reuse-Anwendungen für z.B. Energiespeichersysteme oder Mikromobilität. Weitere Informationen unter: <https://www.circunomics.com/>.

» **betteries AMPS GmbH** (Herstellung von mobilen Energiesystemen)

Das deutsche Unternehmen betteries bietet Alternativen zu brennstoffbetriebenen Generatoren an, indem es gebrauchte Elektrofahrzeugbatterien auf Modulebene aufbereitet. Die modularen Energiesysteme können in verschiedenen Industriesegmente wie z.B. in der Bauindustrie, der Zivil- und Katastrophenhilfe, sowie der Film- und Unterhaltungsbranche eingesetzt werden. Weitere Informationen unter: <https://betteries.com/>.

» **Watt4ever** (Herstellung von Energiespeicher- und Antriebssystemen sowie Generatoren)

Das belgische Unternehmen Watt4Ever bietet hochwertige Second-Life-Batteriemodule für Privatpersonen und Unternehmen an. Die Anwendungsfälle reichen von Heimspeichersysteme bis hin zu Großspeichersystemen, Bausteinen für die Elektromobilität oder Speicheranwendungen für Unternehmen. Weitere Informationen unter: <https://watt4ever.be/>.

Kasten 1: Beispielhafte Geschäftsmodelle für Second-Life Anwendungen von EF-Batterien

Nur so können bei der Prüfung einer Fahrzeugbatterie auf Wiederverwendbarkeit wichtige Ereignisse ausreichend berücksichtigt werden, die einen Einfluss auf die Lebensdauer und Sicherheit der Batterie haben könnten. Die EU-Batterieverordnung enthält erste begrüßenswerte Vorgaben zur Nachverfolgung schädlicher Ereignisse z.B. Anzahl der Tiefentladungen, Zeit unter extremen Temperaturen, Zeit des Ladens unter extremen Temperaturen (Artikel 14 und Anhang VII). Allerdings sollten Hersteller unabhängigen Akteuren nicht nur „Lesezugriff“ zum Batterie-Management-System (BMS) ermöglichen (Artikel 14), sondern auch „**Kontrollzugriff**“, um das BMS in die Second-Life-Anwendung zu integrieren und die Batterien optimal einzusetzen. Zur Bereitstellung all dieser Daten ohne finanzielle und strukturelle Hürden für unabhängige Akteure und in standardisierter Form sollten Hersteller rechtlich verpflichtet werden. Ein sinnvolles Instrument hierfür stellt der Batteriepass dar.

Die EU-Batterieverordnung gibt Zielwerte für die Recyclingeffizienz und die stoffliche Verwertung von Fahrzeugbatterien vor (Artikel 71), es fehlen jedoch verbindliche **Wiederverwendungsquoten**. Die aktuelle Regelung bewirkt eine einseitige Fokussierung auf das Recycling und widerspricht der Abfallhierarchie. Die DUH fordert die Einführung solcher Wiederverwendungsquoten, deren Höhe auf Basis von Marktdaten von der Kommission festgelegt und schrittweise erhöht werden. Darüber hinaus sollten diese Quoten nicht nur für die Mitgliedsstaaten, sondern auch für die Hersteller bzw. deren Systeme verpflichtend sein. So würden entsprechende Anreize gesetzt werden, Strukturen für die Wiederverwendung zu schaffen. Zur Förderung der Wiederverwendung schlägt die DUH außerdem vor, eine **Pflicht zur Prüfung der**

Wiederverwendbarkeit für ausgediente EF-Batterien vor der Demontage einzuführen. Im Falle einer Wiederverwendbarkeit muss der Ausbau der Batterie auf zerstörungsfreie Weise erfolgen und die Batterie der (Vorbereitung zur) Wiederverwendung zugeführt werden.

Die Entscheidung was mit einem Unfallwagen passiert, liegt in Europa häufig in der Hand der **Versicherer**, in Deutschland jedoch bei den Besitzenden. Da durch den Ausbau der Elektromobilität am



Wiederaufbereitete EF-Batterien eignen sich im „Second-Life“ häufig noch gut für einen erneuten stationären oder mobilen Einsatz

Anfang insbesondere Batterien aus Unfallwägen für die Wiederverwendung in Frage kommen, kann es sinnvoll sein die Rolle der Versicherungen zu fördern, um den Ersatzteilmarkt und die Kooperation mit Reuse-Akteuren zu stärken.

Um Wiederverwendungsstrukturen rechtzeitig zu etablieren, sollten auch **wirtschaftliche Anreize** für mehr Wiederverwendung geschaffen werden. Mögliche Instrumente in diesem Bereich wären Steuervergünstigungen für Reparaturen und den Einsatz wiederverwendeter Fahrzeugbatterien. Auch könnte sich die öffentliche Beschaffung zur vorrangigen Nutzung von Second-Life Batterien

verpflichten und dies auch zur Bedingung bei Förderprogrammen für stationäre Energiespeicher machen. Auch könnten Leih- und Leasingprogramme gefördert werden, die Kund:innen wiederverwendete Batterien bereitstellen und dadurch eine lange Nutzung ermöglichen.

3. Förderung der Reparatur

Durch regelmäßige Wartung und Reparatur verlängert sich die Lebensdauer von EF-Batterien erheblich und es kann mitunter ein vorzeitiger Kompletttausch verhindert werden. Dies senkt den Bedarf an Batterien und minimiert dadurch die mit der Herstellung einhergehenden Umweltauswirkungen (z.B. Ressourcenbedarf, Energiebedarf etc.). Daher sollten für die Reparatur von EF-Batterien optimale Bedingungen geschaffen werden.

Hindernisse in der Praxis überwinden

Aktuell besteht auf dem Markt bereits ein Engpass an erschwinglichen Reparaturlösungen für EF-Batterien, denn es fehlen beispielsweise **Diagnoseinfrastrukturen**, um den Zustand von EF-Batterien genau zu diagnostizieren und somit fundierte Entscheidungen über die Reparatur von Elektrofahrzeugen treffen zu können.²³

Auch die **Kosten der Reparatur** spielen eine entscheidende Rolle auf dem Markt, damit sich Versicherungen und Fahrzeugbesitzer für eine Reparatur statt einem Kompletttausch von EF-Batterien entscheiden. Laut des Gesamtverbands der Versicherer waren die Reparaturkosten zwischen 2019 und 2021 von Elektrofahrzeugen 30 - 35 Prozent höher als bei vergleichbaren Verbrennern.²⁴ Die derzeit hohen Kosten hängen mit der geringen Verbreitung von Elektrofahrzeugen sowie Sicherheitsmaßnahmen im Umgang mit beschädigten Lithium-Ionen-Batterien zusammen. Durch die Ausweitung des Marktes für Elektrofahrzeuge und

neue Batterietypen ist jedoch davon auszugehen, dass diese Kosten in Zukunft sinken werden. Auch müssen Elektrofahrzeuge weniger häufig repariert werden als vergleichbare Verbrenner, da weniger mechanische Teile genutzt werden, was die Kosten zusätzlich senkt.²⁵ Ein sehr relevanter Parameter in Bezug auf Reparaturkosten ist in der Regel zudem der Preis von Ersatzteilen.

Wesentliche Grundlagen für eine gute Reparierbarkeit müssen in der Designphase gelegt werden (siehe Abschnitt 1). Dabei werden auch **Softwareaspekte** zunehmend relevant, da Elektrofahrzeuge immer stärker Elektrogeräten gleichen, deren Reparierbarkeit oft durch Softwareabhängigkeiten eingeschränkt ist.²⁶ In diesem Zusammenhang sind auch reparaturfeindliche Herstellerpraktiken wie Part Pairing/ Teilekopplung (dt.) oder Kodierungen problematisch. Letztere werden zunehmend zur Kontrolle verschiedener Teile und Komponenten auch in Fahrzeugen verwendet.²⁷

Notwendige Maßnahmen zur Förderung der Reparatur

Die EU-Batterieverordnung hat es versäumt, die Grundlagen für eine starke Reparatur-Infrastruktur für EF-Batterien zu etablieren. Ohne ausreichende Vorgaben könnte eine ähnliche Situation wie bei Elektrogeräten entstehen, bei der voll funktionsfähige Produkte zulasten der Umwelt frühzeitig ausgemustert werden müssen, weil sie nicht repariert werden können oder die Kosten für eine Reparatur zu hoch sind.

Verbindliche Ökodesignvorgaben für die Reparierbarkeit von EF-Batterien sind eine wichtige Grundlage für die Reparatur (vgl. Abschnitt 1). Außerdem spielt die **Verfügbarkeit von Ersatzteilen** eine entscheidende Rolle. Relevante Kriterien sind hierbei die garantierte Verfügbarkeitsdauer ab Produktkauf, der Beschaffungskanal, die Lieferzeit und der

Preis. Der Ersatzteilpreis sollte in einem angemessenen Verhältnis zum Batteriepreis stehen. Die DUH fordert, dass Ersatzteile von EF-Batterien nach dem Batteriekauf für 15 Jahre verfügbar sein müssen. Neben Ersatzteilen sollten auch Softwareanwendungen diesen Verpflichtungen unterliegen und mindestens 15 Jahre bereitgestellt werden und eine sichere Nutzung gewährleisten, ohne dabei die Funktionalität einzuschränken.

Reparaturen sollten nicht nur für Hersteller, sondern auch für (zertifizierte) **unabhängige Reparaturwerkstätten** durchführbar sein, um eine herstellerunabhängige Reparaturinfrastruktur aufzubauen und dadurch **niedrige Reparaturkosten** zu begünstigen. Dazu sollten diesen unabhängigen Akteuren diskriminierungsfreier Zugang zu Ersatzteilen, Softwareupdates, Werkzeugen sowie Reparatur- und Demontageanleitungen bereitgestellt werden. Reparaturfeindliche Herstellerpraktiken wie Part Pairing/ Teilekopplung (dt.) müssen verboten werden, da unabhängige Reparaturwerkstätten oft der Zugang zu den notwendigen Codes oder Paarungen fehlt.²⁸ Auch sollten Reparaturen von EF-Batterien steuerlich begünstigt werden, um die Reparatur gegenüber einem Austausch der Batterie zusätzlich zu begünstigen.

Insgesamt braucht es ein **Recht auf Reparatur**, das die beschriebenen rechtlichen Voraussetzungen für die Reparatur garantiert. Die DUH kritisiert, dass Fahrzeuge nicht im Geltungsbereich der beschlossenen ESPR sind und damit auch nicht in den Geltungsbereich der Right-to-Repair-Richtlinie fallen.

4. Erfolgreicher Batteriepass und starke Verbraucher:innen-information

Ab 2027 muss nach der **EU-Batterieverordnung** jede in Verkehr gebrachte EF-Batterie in der EU erstmals über einen Batteriepass verfügen (Artikel 77). Der Batteriepass soll es verschiedenen Akteuren ermöglichen, relevante Informationen zur Batterie zu erhalten. Beispielsweise sollen Verbraucher:innen in Zukunft so die stoffliche Zusammensetzung oder Informationen zum CO₂-Fußabdruck einsehen können. Die Einführung des Batteriepasses ist ein wichtiger Schritt, um Reparatur, Wiederverwendung und Recycling zu fördern und Verbraucher:innen ökologische Kaufentscheidungen zu erleichtern. Nun ist es aber wichtig, dass in der folgenden Detailregulierung eine maximale Transparenz für Verbraucher:innen, Reparatur-, Wiederverwendungs- und Recyclingbetriebe erreicht wird.

Die im Batteriepass gespeicherten Daten sind insbesondere für **Reparaturen** sowie bei der Weitergabe der EF-Batterie zur **Wiederverwendung** relevant und können so die Lebensdauer und Sicherheit der Batterienutzung fördern. Die für Reparatur und Wiederverwendung notwendigen Daten



Batteriepass: Wichtiges Instrument für mehr Transparenz

wurden in den Abschnitten 2 und 3 ausführlich beschrieben. Für **Verbraucher:innen** ist entscheidend, dass die Informationen über die Batterie einfach beim Kaufangebot sowie über eine Produktkennzeichnung abrufbar sind und Informationen zu Herkunft und Art von Rohstoffen, Rezyklatgehalt, CO₂-Fußabdruck, Schadstoffgehalt, voraussichtliche Lebensdauer und Reparierbarkeit im Batteriepass enthalten sind. Die Reparierbarkeit könnte über einen Reparatur-Index/ -Label ähnlich wie im Ökodesignregelwerk für Smartphones und Tablets bewertet werden.

Darüber hinaus bietet der Batteriepass enormes Potential, um mehr Informationen über den **Lebensweg der Batterien** zu erhalten. So sollten Daten zum Hersteller und Vertreiber sowie durchgeführte Wartungen, Reparaturen (inkl. Defekten) und Weiterverkäufe im Batteriepass gespeichert werden. Am Lebensende könnte über den Batteriepass auch eine sachgemäße Entsorgung sichergestellt werden, indem die Besitzenden beispielsweise für EF-Batterie einen Entsorgungsnachweis vorlegen müssen. Beim Batteriepass ist zusätzlich eine gute **Harmonisierung und Vernetzung mit anderen Produktpässen** notwendig, z.B. mit dem geplanten Produktpass für Fahrzeuge.

5. Erweiterte Produktverantwortung und zuverlässige Sammlung

Nach der **EU-Batterieverordnung** (Artikel 61) müssen Hersteller und Produzentensysteme von EF-Batterien ab dem 18. August 2025 Elektrofahrzeugaltbatterien unentgeltlich zurücknehmen und sicherstellen, dass sie getrennt gesammelt und der Wiederverwendung bzw. dem Recycling zugeführt werden. Auch Händler sind ab August 2025 verpflichtet, EF-Batterien in der Verkaufsstelle entgegenzunehmen und den Herstellern zu übergeben (Artikel 62).

Die mit der Batterieverordnung gelegte Grundlage für ein **System der Erweiterten Produktverantwortung** (EPR) für EF-Batterien wird durch die DUH ausdrücklich begrüßt. Es braucht jedoch über die Verpflichtungen zu Sammlung und Recycling hinausgehend ein umfassendes Rahmenwerk für die EPR, um Umweltauswirkungen von der Produktion bis zur Entsorgung von EF-Batterien zu minimieren. So sollte ein EPR-System Hersteller entsprechend der Abfallhierarchie auch zur Förderung von Reparatur und Wiederverwendung verpflichten, beispielsweise durch verbindliche Wiederverwendungsziele und verpflichtende Tests für die Wiederverwendbarkeit ausgedienter EF-Batterien. Zudem sollten Hersteller mehr Verantwortung für die Sensibilisierung von Verbraucher:innen für umweltfreundliches Verhalten übernehmen.

Die DUH unterstützt die im Rahmen einer Studie zu Textilien erarbeiteten und favorisierten EPR-Modelle „Herstellergetragenes Modell“ sowie „Systeme im Wettbewerb“. Die beschriebenen Modelle ermöglichen mehr Verbindlichkeit bei der Erfüllung von Zielen (z.B. bzgl. Wiederverwendung und Recycling) sowie einen einfacheren Vollzug.²⁹ Die in der EU-Batterieverordnung vorgegebene Option für Mitgliedsstaaten, die Erfüllung der Produktverantwortung durch **kollektive Systeme** verbindlich vorzuschreiben, ist aus Sicht der DUH begrüßenswert. Die Bildung kollektiver Systeme für die Umsetzung der Herstellerverantwortung sollte EU-weit vorgegeben werden, da dies den Vollzug im Rahmen der Produktverantwortung erheblich erleichtern und somit zu einer besseren Erfüllung von Herstellerpflichten beitragen kann.²⁹ Auch können über kollektive Systeme einfacher Mechanismen der Ökomodulation integriert werden (siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Eine **zuverlässige Sammlung** ist auch bei EF-Batterien die Grundvoraussetzung für eine sachgerechte Wiederverwendung oder ein Recycling. Im Gegensatz zu Gerätebatterien werden diese Batterien bei einer Fehlentsorgung nicht über die häusliche Abfallsammlung entsorgt, sondern es sind vielmehr illegale Weiterverkäufe ins In- und Ausland problematisch, bei denen eine sachgemäße Verwertung am Lebensende nicht mehr sichergestellt ist. Es braucht daher auch bei EF-Batterien Anreize für Verbraucher:innen, Werkstätten und Versicherungen, Batterien sachgerecht zu entsorgen. Die DUH hält in diesem Kontext ein Pfandsystem oder eine Verwertungsnachweispflicht für geeignete Instrumente. Zusätzlich braucht es ein System, das eine bessere Verfolgbarkeit von EF-Batterien ermöglicht z.B. über den Batteriepass (siehe Abschnitt 4).³⁰

Um **illegale Exporte** von Fahrzeugbatterien einzuschränken, braucht es eine eindeutiger Klassifikation von Altbatterien als gefährlicher Abfall sowie klarere Verantwortlichkeiten, wenn Batterien zu Abfall werden. Oftmals erfolgen illegale Exporte in Bezug auf ganze Fahrzeuge. Nach aktuellen Schätzungen werden jährlich zwischen 3,4 und 4,7 Millionen Altfahrzeuge illegal von der EU nach Afrika exportiert, zusätzlich zu 1,8 Millionen bestätigten Exporten.³¹ Der VDEoL-Entwurf (13.07.2023) enthält wertvolle Ansätze, um den illegalen Export von EF-Batterien durch bessere Definitionen (z.B. zur Verkehrstüchtigkeit) einzudämmen. Diese Maßnahmen müssen aber durch wirksame Behörden- und Zoll-Kontrollen sowie Sanktionen begleitet werden, um erfolgreich zu sein.

Weiterhin ist jedoch der **Export von verkehrstüchtigen Fahrzeugen** außerhalb der EU weiterhin legal. Die DUH fordert in diesen Fällen die EPR-Gebühren, die Hersteller durch den Export sparen, den empfangenden Ländern für den Betrieb von

Abfallwirtschaftssystemen zur Verfügung zu stellen.³² Die Herstellerverantwortung sollte erst enden, wenn das Fahrzeug bzw. die Batterie nachweislich auf hohem Standard verwertet wurde. Notwendig ist es auch, diese Exporte nur für solche Länder zu erlauben, die ähnliche Umweltstandards für die Verwertung wie in der EU nachweisen können. Die VDEoL sollte zusätzlich vorschreiben, dass beim Export gebrauchter Fahrzeugbatterien relevante Informationen z.B. zum Gesundheitszustand der Batterie an empfangenden Länder weitergegeben werden müssen.

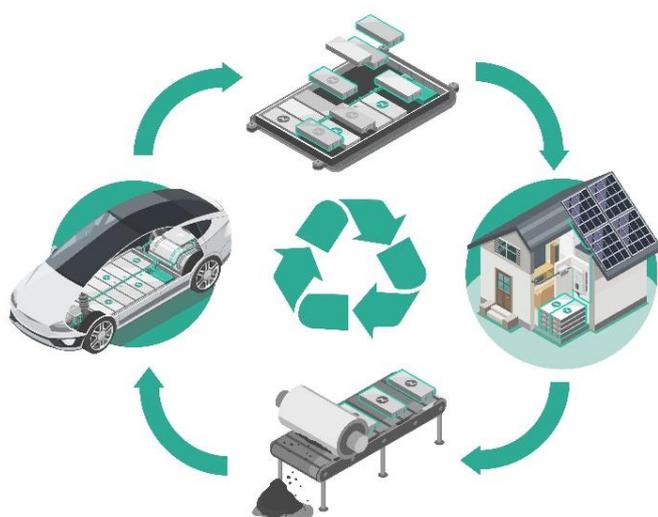
6. Hochwertiges Recycling

Derzeit werden EF-Batterien vorrangig aus Primärrohstoffen hergestellt, deren Gewinnung mit erheblichen Umweltwirkungen verbunden ist. Eine Reduktion des Bedarfs an Primärrohstoffen sollte neben der Förderung von Wiederverwendungsmaßnahmen auch durch ein effizientes Recycling erfolgen. Dies würde außerdem die regionale Rohstoffversorgung fördern.

Eine Grundvoraussetzung für effiziente Recyclingstrukturen in Europa sind **hochwertige Sammelstrukturen** (siehe Abschnitt 5). Wichtig ist zudem, dass Wertstoffe nicht für ein minderwertigeres Recycling exportiert werden (z.B. durch illegale Exporte von Altfahrzeugen). In diesem Zusammenhang empfiehlt die DUH, die beim Recycling erzeugte „schwarze Masse“ als gefährlichen Abfall einzustufen, um Exporte in Länder mit mangelnden Umweltstandards zu verhindern. Derzeit führt u.a. der Mangel an Behandlungskapazitäten in der EU dazu, dass ein Großteil der in Europa anfallenden schwarze Masse nach Asien exportiert wird.³³ Um die in Batterien enthaltenen Wertstoffe nach einer möglichst langen Nutzungsphase optimal zurückzugewinnen und die in der EU-Batterieverordnung festgelegten Zielvorgaben für Recycling-

effizienzen und stoffliche Verwertung (Artikel 71) einzuhalten, braucht es in Europa einen starken Recyclingmarkt. Die **CRMR** gibt erstmals Zielwerte für das Recycling in der EU an: Es sollen bis 2030 mindestens 25 Prozent des jährlichen Verbrauchs strategischer Rohstoffe zurückzugewonnen werden. Die DUH fordert solche Ziele nicht nur den Mitgliedsstaaten vorzugeben, sondern auch konkreten Akteuren (z.B. Herstellern), um mehr Verbindlichkeit zu erreichen.

Weiterhin spielt ein auf das Recycling ausgerichtetes Ökodesign eine wichtige Rolle (siehe Abschnitt 1). Relevante **Informationen für Recycler**, z.B. zur Demontierbarkeit oder enthaltenen Rohstoffen, sollten durch den Batteriepass sowie Kennzeichnungen an der Batterie zur Verfügung gestellt werden. Auch die **Qualität des Recyclings** spielt eine wichtige Rolle: Nur in "battery-grade" Qualität können die gewonnenen Materialien für die Produktion neuer EF-Batterien verwendet werden. Rechtliche Vorgaben müssen ein Downcycling von Batteriematerialien (z.B. zur Anwendung im Straßenbau) daher unbedingt verhindern.



Ein hochwertiges Recycling kann im Anschluss an ein Second-Life einen wichtigen Beitrag zur Senkung des Ressourcenbedarfs leisten

Die DUH begrüßt, dass in der EU-Batterieverordnung erstmals **materialspezifische Recyclingquoten** für Lithium, Kobalt, Nickel, Kupfer und Blei festgelegt wurden. Mit diesem Instrument wird das Recycling von aktuell weniger rentablen Materialien (z.B. Lithium und Kobalt) gefördert und die Weiterentwicklung von Recyclingverfahren unterstützt.

Zur Schließung von Materialkreisläufen ist es jedoch unerlässlich auch den Einsatz von Sekundärmaterialien in der Produktion zu fördern. So sollten politische Instrumente dafür sorgen, dass **Sekundärrohstoffe** gegenüber Primärrohstoffen konkurrenzfähig werden. **Rezyklateinsatzquoten** sind dabei ein wichtiges Instrument, um den rechtzeitigen Aufbau hochwertiger Recyclingstrukturen zu fördern (siehe Abschnitt 1).

7. Förderung von Forschung und Entwicklung

Der technologische Fortschritt und die Erforschung alternativer Batteriezelltechnologien werden einen Beitrag dazu leisten können, den Bedarf an kritischen Rohstoffen wie Lithium oder Kobalt langfristig zu reduzieren. Aktuell gibt es durch verschiedene technologische Entwicklungen erhebliche Potentiale, die Ressourceneffizienz von Fahrzeugbatterien zu verbessern.

Die derzeit am Markt dominierende Batteriezelltechnologie ist die **Lithium-Ionen-Batterie**. Sie zeichnet sich durch eine hohe Energie- und Leistungsdichte aus und eignet sich damit insbesondere für mobile Anwendungen.³⁴ Vorteile von LIBs sind die schnelle Aufladbarkeit und eine gute Haltbarkeit, letzteres hängt jedoch stark von Lagerung und Nutzungsverhalten ab.^{10,35} Aus Umweltsicht ist vor allem der hohe Bedarf an kritischen Rohstoffen für die LIB-Technologie problematisch. Bei

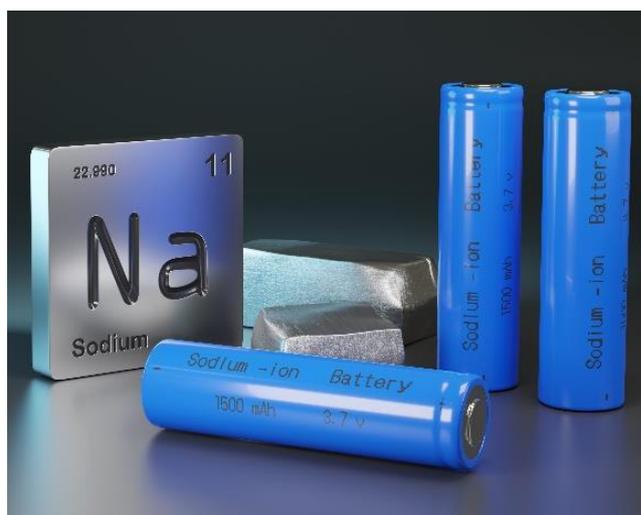
unsachgemäßer Benutzung, Lagerung, Transport oder Entsorgung können LIBs Brände verursachen.

Verbreitete LIB-Technologien sind **NMC** (Nickel-Mangan-Cobalt), **NCA** (Nickel-Cobalt-Aluminium) und **LFP** (Lithium-Eisenphosphat). NMC/NCA-Batterien werden in Europa aktuell hauptsächlich für Elektrofahrzeuge mit hohen Reichweiten und Leistungen genutzt. LFP-Batterien vermeiden den Einsatz der kritischen Metalle Kobalt, Nickel und Mangan und sind langlebiger als klassische LIBs.³⁶ Eisen- und Phosphat weisen außerdem eine gute Verfügbarkeit auf und sind leicht recycelbar.^{37,38} LFP-Batterien sind zudem im Vergleich zu NMC/NCA-Batterien weniger leicht entflammbar und dadurch sicherer.³⁹ Allerdings benötigen auch LFP-Batterien weiterhin große Mengen an kritischem Lithium. Technisch haben LFP-Batterien zudem eine niedrigere Energiedichte als klassische LIBs und benötigen daher mehr Platz. Sie werden daher aktuell vorrangig für stationäre Energiespeicher eingesetzt oder eignen sich für kleinere Fahrzeuge wie motorisierte Zweiräder oder Kleinwagen.

Eine bisher noch nicht kommerzialisierte LIB-Technologie ist die **Festkörperbatterie** (auch Feststoffbatterie). Technische Vorteile sind die hohe Energiedichte, Sicherheit, kurze Ladezeiten und höhere Reichweiten im Vergleich zu klassischen LIBs. Auch aus Umweltsicht kann die Festkörperbatterien aufgrund ihrer Langlebigkeit, kompakteren und leichterem Aufbau und der Vermeidung von u.a. Kobalt deutliche Vorteile bieten.^{40,41}

Im Fokus der Forschung stehen zudem Metall-Ionen-Batterien, bei denen alternatives Kathodenmaterial in Form von verschiedenen Metallen zum Einsatz kommt, um den Bedarf von kritischem Lithium zu vermeiden. Hier sind insbesondere **Natriumionenbatterien** (englisch: sodium-ion battery

(SIB)) vielversprechend, denn seit Januar 2024 wird ein erstes Elektrofahrzeug mit dieser Batterietechnologie auf dem Markt angeboten.⁴² Fehler! Textmarke nicht definiert. Natrium ist auf der Erde weit verbreitet und unkritisch bei der Gewinnung, was SIBs gegenüber LIBs klare Umweltvorteile bringt. SIBs sind zudem nicht entflammbar und somit auch bei hohen und niedrigen Temperaturen sicher.⁴³ Auch können SIBs eine lange Lebensdauer erreichen. Ein technischer Nachteil besteht hinsichtlich einer geringeren Energiedichte im Vergleich zu LIBs und einem damit einhergehenden höheren Platzbedarf von SIBs.^{44,45}



Neue Batteriezelltechnologien wie die Natriumbatterie können den Bedarf an kritischen Rohstoffen für die Batterieproduktion erheblich senken

Weitere Metall-Ionen-Batterien, die in der Entwicklung stecken, sind Aluminium-Ionen und Magnesium-Ionen Batterien.³⁴ Diese Metalle sind reichlich verfügbar und können den Bedarf an kritischen Rohstoffen weiter reduzieren. Die Magnesium-Ionen Batterie verspricht zudem eine deutliche Reduktion des CO₂-Fußabdrucks. Es gibt jedoch bezüglich dieser Metall-Ionen-Batterien derzeit noch einige technische Herausforderungen in Bezug auf mobile Anwendungen zu lösen. Auch Alternativen wie Metall-Schwefel- und Metall-Luft-

Batterien werden derzeit erforscht.³⁴ Um jedoch langfristig im PKW-Segment einsetzbar zu werden, müssen jedoch auch für diese Techniken noch technische Hürden wie z.B. der Betrieb unter niedrigen Temperaturen oder die Wiederaufladbarkeit überwunden werden.

Europa sollte die Entwicklung und **Etablierung neuer Batterietechnologien fördern**, die mit geringeren Umweltbelastungen verbunden sind. Ein wichtiges Kriterium hierbei ist die Minimierung des Einsatzes von kritischen Rohstoffen wie Lithium, Kobalt, Nickel oder Mangan. Ebenso sollte aus Umweltsicht zusätzlich ein geringer CO₂-Fußabdruck, eine hohe Lebensdauer, hohe Energieeffizienz sowie ein geringes Brandrisiko erreicht werden. Auch sind Innovationen zur Verbesserung der Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit von Batterien notwendig.

Eine einseitige Fokussierung des EU-Marktes auf eine Batteriezellentechnologie sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Es sollten gute Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass sich neue Batterietypen mit nachweislich geringeren Umweltauswirkungen schnell im Markt etablieren können.

8. Anpassungen im Mobilitätsverhalten

Auch Anpassungen im Mobilitätsverhalten haben ein enormes Potential, den Ressourcenbedarf im Batteriesektor zu reduzieren, insbesondere, da entsprechende Maßnahmen in der Abfallhierarchie ganz oben ansetzen. Dabei können sich Maßnahmen sowohl auf eine Verringerung der Pkw-Anzahl als auch auf individuellen Fahrzeugeigenschaften beziehen.

Eine Antriebswende vom Verbrennungs- zum Elektroantrieb ist sowohl aus Klimaschutzgründen



Eine Reduktion der Gesamtzahl an PKW im Rahmen einer grundlegenden Mobilitätswende trägt auch zum Ressourcenschutz bei

als auch gesamtökologisch notwendig und richtig.¹ Allerdings bedeutet das auch nicht, dass jeder aktuell zugelassene Pkw durch ein Elektroauto ersetzt werden sollte. Die DUH fordert langfristig eine **Halbierung der Gesamtzahl der Pkw** im Rahmen einer grundlegenden Mobilitätswende. Dazu muss der Fuß-, Rad- und öffentliche Personennahverkehr deutlich gefördert und attraktiver gestaltet werden, sodass die Reduzierung der Nutzung von Privatfahrzeugen deutlich vereinfacht wird. Politische Instrumente, um eine Mobilitätswende zu fördern, sind beispielsweise Anpassungen von Steuern und Parkgebühren, eine Vergünstigung des ÖPNV, eine fahrleistungsbasierte Maut sowie die Abschaffung von kontraproduktiven Subventionen, wie beispielsweise in Deutschland dem Dieselprivileg oder bei der Dienstwagenbesteuerung.

Elektro-Pkw können ihre ökologischen Vorteile gegenüber Verbrennern nur vollständig ausschöpfen, wenn sie möglichst klein und leicht sind. Daher ist ein weiterer wichtiger Hebel für mehr Ressourcenschutz im Pkw-Segment die **Reduktion des Gewichts oder der Größe von Fahrzeugen und LIB-Batterien**. Bisher gibt es keine ausreichenden politischen Maßnahmen, um den Anteil von Fahrzeugen mit einem besonders hohen Ressourcenbedarf (wie SUVs und Geländewagen) zu verringern.

Mögliche Instrumente wären, z.B. Steuern, Umweltzonen oder Parkgebühren, die das Fahrzeuggewicht berücksichtigen. Aktuell fehlt es zudem an Ökodesignvorgaben, die auf eine Reduktion des Fahrzeuggewichts abzielen (siehe Abschnitt 1).

9. Verbindliche Ressourcen-Reduktionsziele

Um im Bereich Ressourcenschutz mehr Verbindlichkeit zu erreichen, fordert die DUH die politische Verankerung von Reduktionszielen für den Verbrauch an Primärressourcen auf EU-Ebene sowie in den Mitgliedsstaaten (z.B. ein Material footprint reduction target). Eine solche Regulierung könnte analog zur Klimagesetzgebung ausgestaltet werden und Unterziele für bestimmte Sektoren – wie den Mobilitätsbereich - festlegen. Österreich hat bereits entsprechende Ziele zum Ressourcenschutz rechtlich verankert.

Ein Ressourcenschutzziel im Verkehrsbereich hätte den Vorteil, dass die effektivsten Maßnahmen – vermutlich am oberen Ende der Abfallhierarchie – den größten Beitrag zur Erreichung des Ziels leisten und damit priorisiert werden würden. Wichtig ist allerdings, dass die Ziele auch **verbindlich ausgestaltet** werden. So könnten die Ziele beispielsweise für Hersteller verbindlich werden, die dann wahlweise Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz ergreifen könnten (z.B. eine Reduktion des Fahrzeuggewichts).

Ressourcenschutzziele sollten sich allerdings nicht ausschließlich auf die für eine Antriebswende notwendigen kritischen Rohstoffe beziehen, um keine Hürden für den Umstieg auf die Elektromobilität zu schaffen. Um im Bereich kritischer Rohstoffe eine höhere Ressourceneffizienz zu erreichen, könnten beispielsweise politische **Zielvorgaben für einen nachhaltigen Konsum** in bestimmten Bereichen

gemacht werden (z.B. bezüglich des rechnerischen Pro-Kopf-Verbrauchs für Fahrzeuge, Elektrogeräte etc.).

10. Verlässlicher Vollzug

Regelungen für EF-Batterien können ihre Wirkung zum Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit nur erreichen, wenn sie auch effektiv umgesetzt und überwacht werden. Dazu müssen die Vollzugsbehörden mit **ausreichend Mitteln** ausgestattet werden, die auch eigene Messungen, Plausibilitätsprüfungen und unangekündigte Kontrollen ermöglichen. Die DUH empfiehlt in einigen übergeordneten Bereichen Vollzugs- und Überwachungsaufgaben auch EU-weit aufzubauen, um Fachwissen zu bündeln, Akteure zu vernetzen und **Vollzugspraktiken in der EU zu harmonisieren**.

Derzeit gibt es im Bereich Batterien bereits erhebliche **Vollzugsdefizite**, insbesondere in Bezug auf illegale Exporte oder die vollständige Einbeziehung von Herstellern in EPR-Systeme. Auch fehlt es teilweise an wirksamen Sanktionsmechanismen, z.B. sind bestimmte Verstöße in Deutschland nicht als Ordnungswidrigkeit eingestuft. Von einem erfolgreichen Vollzug sind auch vorbildlich agierende Wirtschaftsakteure im hohen Maße abhängig, da sie anderenfalls durch Unternehmen mit geringeren Umweltstandards vom Markt verdrängt werden.

- ¹ Deutsche Umwelthilfe (2024). 10 Fakten zur Umweltverträglichkeit von Elektrofahrzeugen - Wie die Elektromobilität zum Umwelt- und Ressourcenschutz beitragen kann.; https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Batterien/240130_Umweltvertraeglichkeit_Elektrofahrzeuge_FINAL.pdf
- ² Hinweis: Aus Gründen der Vereinfachung verwenden wir den Begriff "Wiederverwendung" sowohl für die Vorbereitung zur Wiederverwendung als auch für die Wiederverwendung vor der Erreichung der Abfalleigenschaft. Rechtlich betrachtet sollten diese Begriffe jedoch getrennt behandelt werden.
- ³ Deutsche Umwelthilfe (2023, July 14). *Deutsche Umwelthilfe und Transport & Environment zur EU-Batterieverordnung: Neue Vorgaben zu Recycling und CO2-Begrenzung wichtiger Fortschritt, Nachholbedarf bei Wiederverwendung und Reparatur.* <https://www.duh.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/deutsche-umwelthilfe-und-transport-environment-zur-eu-batterieverordnung-neue-vorgaben-zu-recycli/>
- ⁴ ECOS, DUH, RREUSE (2023). How to reduce our dependency on critical raw materials by stimulating circularity. ECOS, DUH and RREUSE position on the Critical Raw Materials Regulation proposal
- ⁵ Peters, J. F., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., & Weil, M. (2017). The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 67, Pages 491-506. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.039>.
- ⁶ Ökopol GmbH (2023). Handlungsfeld Fahrzeuge und Batterien. Input aus dem Projekt „Wissenschaftliche Unterstützung und Begleitung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie NKWS“
- ⁷ United Nations Environment Programme, & International Resource Panel (2011). Recycling Rates of Metals: A Status Report. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8702> UNEP (2011) Recycling Rates of Metals: A Status Report.
- ⁸ Neef, C., Schmaltz, T., & Thielmann, A. (2021). Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. DOI [10.24406/publica-fhg-301299](https://doi.org/10.24406/publica-fhg-301299)
- ⁹ Koyuncu, B., Hoffmann, M., Rateau, F., & Vahk, J. (2021). Chemical recycling and recovery. ECOS, Deutsche Umwelthilfe, Zero Waste Europe. <https://zerowasteurope.eu/library/chemical-recycling-and-recovery-recommendation-to-categorise-thermal-decomposition-of-plastic-waste-to-molecular-level-feedstock-as-chemical-recovery/>
- ¹⁰ Thielmann, A., Sauer A., & Wietschel, M. (2015). Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/a1cc3155-22da-4018-9de9-cc65b2ae4e53/details>
- ¹¹ Mangler, A., Hofmann, R. (12.07.2018). Li-Ion-Akkus: Wie lässt sich ein Thermal Runaway verhindern? <https://www.elektro-nikpraxis.de/li-ion-akkus-wie-laesst-sich-ein-thermal-runaway-verhindern-a-c21f0f91c05b06cd44e83bad867daae7/>
- ¹² Koehler, R. A., Baron, Y., Bulach, W., & Heinemann, C. (2018). *Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands - Stationäre Energiespeichersysteme in der industriellen Produktion*
- ¹³ Rallo, H., Benveniste, G., Gestoso, I., & Amante, B. (2020). Economic analysis of the disassembling activities to the reuse of electric vehicles Li-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 159, 104785. <https://doi.org/10.1016/j.rescon-rec.2020.104785>
- ¹⁴ Tankou, A., Bieker, G., & Hall, D. (2023). *Scaling up reuse and recycling of electric vehicle batteries: Assessing challenges and policy approaches.* International Council on Clean Transportation (ICCT) White Paper
- ¹⁵ Fischhaber, S., Reget, A., Schuster, S. F., & Hesse, H. (2016). *Studie: Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen.* Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e. V.
- ¹⁶ Bobba, S., Mathieux, F., Ardente, F., Blengini, G. A., Cusenza, M. A., Podias, A., & Pfrang, A. (2018). Life Cycle Assessment of repurposed electric vehicle batteries: an adapted method based on modelling energy flows. *Journal of Energy Storage*, 19, 213-225. DOI:[10.1016/j.est.2018.07.008](https://doi.org/10.1016/j.est.2018.07.008)
- ¹⁷ Wewer, A., Bilge, P., & Dietrich, F. (2021). *Advances of 2nd life applications for lithium ion batteries from electric vehicles based on energy demand.* *Sustainability* (2021), 13(10). <https://doi.org/10.3390/su13105726>
- ¹⁸ Schoenfish, M. & Dasgupta, A. (2024, January 17). *Grid-scale Storage.* IEA. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/grid-scale-storage#tracking>
- ¹⁹ Abdelbaky, M., Peeters, J. R., Duflou, J. R., & Dewulf, W. (2020). Forecasting the EU recycling potential for batteries from electric vehicles. *Procedia CIRP*, Volume 90, 432-436. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.109>
- ²⁰ Autocirc (2024, January, 10). Collaboration: <https://autocirc.com/collaboration/>
- ²¹ Breiter, A., Linder, M., Schuldt, T., Siccardo, G., & Vekić, N. (2023, March 13). *Battery recycling takes the driver's seat.* <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-recycling-takes-the-drivers-seat>
- ²² Kotak, Y. et al. (2021). End of Electric Vehicle Batteries: Reuse vs. Recycle. <https://doi.org/10.3390/en14082217>
- ²³ Thatcham Research (2023). *Impact of BEV Adoption on the Repair and Insurance Sectors*

- ²⁴ Gesamtverband der Versicherer (2023). *Studie: E-Autos sind bei der Reparatur ein Drittel teurer als vergleichbare Verbrenner*. <https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/studie-e-autos-sind-bei-der-reparatur-ein-drittel-teurer-als-vergleichbare-verbrenner-155216>
- ²⁵ Veza, I., Asy'ari, M., Idris, M., Epin, V., Rizwanul Fattah, I. M., & Spraggon, M. (2023). Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV. *Alexandria Engineering Journal, Volume 82*. DOI:[10.1016/j.aej.2023.10.020](https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.020)
- ²⁶ Edwards, J. (2022, December 1). *Could Software Issues Delay Widespread Electric Vehicle Adoption?*. Information Week. <https://www.informationweek.com/software-services/could-software-issues-delay-widespread-electric-vehicle-adoption->
- ²⁷ Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on circularity requirements for vehicle design and on the management of end-of-life vehicles, amending Regulations (EU) 2018/858 and 2019/1020 and repealing Directives 2000/53/EC and 2005/64/EC
- ²⁸ Vgl. Box 4. Part Pairing, EEB (2023). ICT: a top horizontal priority in sustainable product policy
- ²⁹ Umweltbundesamt (2023). *Erarbeitung möglicher Modelle der erweiterten Herstellerverantwortung für Textilien Produktverantwortungsmodelle für Textilien* (ProTex)
- ³⁰ Reuters. (2018, July 25). *China launches pilot EV battery recycling schemes*. <https://www.reuters.com/article/us-china-autos-batteries/china-launches-pilot-ev-battery-recycling-schemesidUSKBN1KF375>
- ³¹ Kitazume, C., Kohlmeyer, R., & Oehme, I. (2020). *Effectively tackling the issue of millions of vehicles with unknown whereabouts*. Umweltbundesamt
- ³² European Environmental Bureau (2023). Study on Items shipped for reuse and Extended Producer Responsibility fees: a case for extending EU EPR fees to cover end-of-life activities of products shipped outside the EU
- ³³ EU Recycling Magazin (2021). Keineswegs dunkle Magie: Schwarzmasse. *EU-Recycling Magazin, 11/2021, 40*. <https://eu-recycling.com/Archive/33421>
- ³⁴ Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI (2023). *Alternative Battery Technologies Roadmap 2030+*. doi: 10.24406/publica-1342
- ³⁵ Ma, S., Jiang, M., Tao, P., Song, C., Wu, J., Wang, J., Deng, T., & Shang, W. (2018). Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review. *Progress in Natural Science: Materials International, Volume 28, (6)*, 653-666. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002>
- ³⁶ 320 Grad (23.01.2024) *Elektromobilität: Welche Vorteile LFP-Batterien haben*. <https://320grad.de/2024/01/23/elektromobilitaet-welche-vorteile-lfp-batterien-haben/>
- ³⁷ EnBW (2023, October 10). *LFP-Akkus für E-Autos: Vor- und Nachteile im Überblick*. <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/lfp-akkus-fuer-e-autos-vor-und-nachteile-im-ueberblick/>
- ³⁸ Kumar, J., Neiber, R. R., Park, J., Soomro, R. A., Greene, G. W., Mazari, S. A., Seo, H. Y., Lee, J. H., Shon, M., Chang, D. W., Cho, K. Y. (2022). Recent progress in sustainable recycling of LiFePO₄-type lithium-ion batteries: Strategies for highly selective lithium recovery. *Chemical Engineering Journal, Volume 431 (Part 1)*. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133993>
- ³⁹ Fraunhofer ISI. (2023, June 12). *Globale Batterieproduktion: Analyse der Standorte und Mengen von Zellen mit LFP- und NMC-/NCA-Kathoden*. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI. <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/themen/batterie-update/globale-batterieproduktion-analyse-standorte-mengen-zellen-lfp-nmc-nca-kathoden.html>
- ⁴⁰ Kartini, E., & Genardy, C. T. (2020). The Future of All Solid State Battery. DOI 10.1088/1757-899X/924/1/012038 IOP Conference Series. Materials Science and Engineering, 924 012038. DOI 10.1088/1757-899X/924/1/012038
- ⁴¹ Vattenfall (2023, March 24). *Neue Batterietechnologien: Gehört der Feststoffbatterie die Zukunft?*. <https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/e-mobility/emobility-feststoffbatterie>
- ⁴² Werwitzke, C. (22.02.2024). JAC Yiwei exportiert erstmals Stromer mit Natrium-Ionen-Batterie. <https://www.electrive.net/2024/02/22/jac-yiwei-exportiert-erstmal-stromer-mit-natrium-ionen-batterie/>
- ⁴³ Manthey, E. (2023, December 14). *Can sodium-ion batteries replace lithium-ion ones?*. ING. <https://think.ing.com/articles/can-sodium-ion-batteries-replace-lithium-ion-batteries/>
- ⁴⁴ Jendrischik, M. (2023, March 19). *Natrium-Batterie: Vorteile und Nachteile gegenüber Lithium-Ionen-Akkus*. Cleanthinking.de. <https://www.cleanthinking.de/natrium-batterie-vorteile-und-nachteile/>
- ⁴⁵ Bai, H., & Song, Z. (2023). Lithium-ion battery, sodium-ion battery, or redox-flow battery: A comprehensive comparison in renewable energy systems. *Journal of Power Sources, 580*. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233426>

2024-06-14

Bildnachweis: Titelbild romaset – stock.adobe.com, S.3 disq/Fotolia, Bonnorange, S.4 Robert Kneschke – stock.adobe.com, S.5 phonlamaipphoto – stock.adobe.com, S.7 romaset – stock.adobe.com, S.8 chesky – stock.adobe.com, S.9 Song_about_summer – stock.adobe.com, S.12 romaset – stock.adobe.com, S.14 Grispb – stock.adobe.com, S.17 AllahFoto – stock.adobe.com, S.18 c_jroballo – stock.adobe.com, S.19 j-mel – stock.adobe.com



Deutsche Umwelthilfe e.V.

Bundesgeschäftsstelle Radolfzell
Fritz-Reichle-Ring 4
78315 Radolfzell
Tel.: 077 32 9995 -0

Bundesgeschäftsstelle Berlin
Hackescher Markt 4
Eingang: Neue Promenade 3
10178 Berlin
Tel.: 030 2400867-0

Kontakt

Marieke Hoffmann
Senior Expert Circular Economy
Tel.: +49 30 2400867- 467
E-Mail: hoffmann@duh.de

Andrea Kostrowski
Expert Circular Economy
Tel.: +49 30 2400867- 415
E-Mail: kostrowski@duh.de

 www.duh.de  info@duh.de  [umwelthilfe](#)

 Wir halten Sie auf dem Laufenden: www.duh.de/newsletter-abo

Die Deutsche Umwelthilfe e.V. ist als gemeinnützige Umwelt- und Verbraucherschutzorganisation anerkannt. Wir sind unabhängig, klageberechtigt und kämpfen seit über 40 Jahren für den Erhalt von Natur und Artenvielfalt. Bitte unterstützen Sie unsere Arbeit mit Ihrer Spende: www.duh.de/spenden

Transparent gemäß der Initiative Transparente Zivilgesellschaft. Ausgezeichnet mit dem DZI Spenden-Siegel für seriöse Spendenorganisationen.

