

Abschlussbericht E-Akteur – Akteursbeziehungen in der Kreislauf- wirtschaftlichen Wertschöpfung von E-Fahrzeugbatterien

Karlsruher Institut für Technologie (KIT):
Sandra Huster, Andreas Rudi, Frank Schultmann

Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung (IPA):
Ralph Schneider, Charlotte Schmidt, Valentin Honold

NO. 75 | MÄRZ 2025

WORKING PAPER SERIES IN PRODUCTION AND ENERGY

Abschlussbericht E-Akteur – Akteursbeziehungen in der Kreislaufwirtschaftlichen Wertschöpfung von E-Fahrzeugbatterien

Sandra Huster¹, Andreas Rudi¹, Frank Schultmann¹,
Ralph Schneider², Charlotte Schmidt², Valentin Honold²

¹ Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hertzstr. 16, 76187 Karlsruhe

² Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

© 2025 The Author(s)

Kurzfassung

Das Projekt „E-Akteur“ untersuchte zentrale rechtliche, ökonomische und soziale Aspekte des End-of-Life-Managements von Elektrofahrzeugbatterien im Kontext einer zirkulären Wertschöpfung. Analysiert wurden Akteursrollen entlang der Batterie-Wertschöpfungskette, insbesondere bislang wenig beachtete Akteure wie Endkunden und Werkstätten. Im rechtlichen Teil wurden die EU-Batterieverordnung sowie weitere relevante Regelungen hinsichtlich Anforderungen an die Wiederverwendung und Umwidmung von Batterien ausgewertet. Es wird deutlich, dass klare Zuständigkeiten und rechtliche Verbindlichkeit benötigt werden. Empirische Erhebungen zeigen eine differenzierte Akzeptanz der Wiederverwendung von Batterien: Während Verbraucher vor allem niedrigere Preise im Vergleich zu Neubatterien und eine lange zweite Nutzungsdauer erwarten, bestehen bei Werkstätten Bedenken bezüglich Haftung und Rentabilität. Andere wirtschaftliche Akteure bewerten die Profitabilität ebenfalls als zentrales Entscheidungskriterium. Ein entwickeltes Simulationsmodell prognostiziert zukünftige Batteriemengenströme für das Recycling, die Umnutzung und die Wiederverwendung in Fahrzeugen bis 2050 unter verschiedenen Annahmen hinsichtlich technischer Entwicklungen und Akteursentscheidungen. Durch Variation der Annahmen werden verschiedene Szenarien betrachtet.

Auf Basis der Akteursbefragungen, der Auswertung des Rechtsrahmens und der Simulationsergebnisse wird empfohlen, Verbraucheraufklärung zu betreiben, wirtschaftliche Anreize gezielt gemäß des gewünschten Batterieverwertungswegs zu setzen, und die regulatorischen Rahmenbedingungen zu harmonisieren. Eine zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft für Traktionsbatterien erfordert das koordinierte Zusammenspiel aller relevanten Akteure.

E-AKTEUR

AKTEURSBEZIEHUNGEN IN DER KREISLAUFWIRTSCHAFTLICHEN WERTSCHÖPFUNG VON E-FAHRZEUGBATTERIEN

ABSCHLUSSBERICHT

Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)
Sandra Huster
Dr. Andreas Rudi
Prof. Dr. Frank Schultmann

Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
(IPA)
Dr. Ralph Schneider
Charlotte Schmidt
Valentin Honold

31. März 2025

Gefördert
durch



Baden-Württemberg
Ministerium für Wirtschaft,
Arbeit und Tourismus

Kurzfassung

Angesichts des starken Wachstums des Elektrofahrzeugmarktes gewinnt das End-of-Life-Management von Batterien zunehmend an Bedeutung. Im Projekt „E-Akteur“ wurde untersucht, wie sich die Interessen der Akteure im Bereich der Verwertung und Wiederaufbereitung von E-Fahrzeughbatterien gestalten. Mithilfe von empirischen Analysen, rechtlichen Bewertungen und simulationsbasierten Zukunftsprognosen wurde ein detailliertes Bild des End-of-Life-Segments der Batteriewertschöpfung gezeichnet mit dem Ziel, praxisrelevante und nachhaltige Handlungsempfehlungen für eine zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft abzuleiten.

Im ersten Arbeitspaket wurden die relevanten Akteursrollen in der Batteriewertschöpfungskette identifiziert und beschrieben. Neben den klassischen Akteuren wie Fahrzeug- und Batterieherstellern und Recyclern rückten insbesondere auch weniger beachtete Akteure wie Werkstätten und Altautodemontagebetriebe in den Fokus. Eine räumliche Darstellung der Akteure in Baden-Württemberg verdeutlicht die vielfältigen Beziehungen und Standorte der beteiligten Unternehmen.

Das zweite Arbeitspaket widmet sich dem rechtlichen Rahmen, in dem Elektrofahrzeughbatterien verortet sind. Neben der zentralen EU-Batterieverordnung werden weitere relevante EU- und nationale Regelungen analysiert, die nicht nur den gesamten Lebenszyklus einer Batterie adressieren, sondern insbesondere auch Anforderungen an Umnutzung und Wiederaufbereitung enthalten. Die Untersuchung zeigt, dass eine klare Rollenabgrenzung und Definition der Pflichten der einzelnen Akteure notwendig ist, um einen reibungslosen Übergang von der Erstanwendung zur Zweitnutzung zu ermöglichen.

Die empirische Untersuchung in Arbeitspaket 3 stützt sich auf Online-Umfragen und Interviews mit privaten Endkunden sowie Werkstätten und weiteren Industrievertretern. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass neben wirtschaftlichen Aspekten, insbesondere dem Preis und der erwarteten Lebensdauer von Batterien, auch Qualitäts- und Sicherheitsbedenken eine wesentliche Rolle bei der Wahl des Verwertungswegs spielen. Verbraucher zeigen grundsätzlich Akzeptanz für refabrizierte Batterien, allerdings hängen ihre Entscheidungen stark von konkreten Kostenvorteilen und technischen Garantien ab. Werkstätten hingegen äußern gemischte Ansichten, wobei sie neben positiven Umweltwirkungen vor allem wirtschaftliche Risiken und Unsicherheiten im Garantiefall bemängeln. Für andere Akteure stellt die Wirtschaftlichkeit das zentrale Entscheidungskriterium dar.

Im vierten Arbeitspaket wurde ein Simulationsmodell entwickelt, das zukünftige Mengenströme von Batterien im Hinblick auf Recycling, Umnutzung und Refabrikation bis zum Jahr 2050 prognostiziert. Hierbei fließen neben technischen Parametern wie Fahrzeug- und Batterielebensdauer auch ökonomische Faktoren sowie die Vorgaben der EU-Batterieverordnung (z. B. Mindestanteile recycelter Rohstoffe) ein. Die Modellierung ermöglicht die Analyse verschiedener Zukunftszenarien, die beispielsweise durch unterschiedliche Rücklaufquoten oder geänderte Markteinflüsse gekennzeichnet sind.

Abschließend leitet das Projekt konkrete Handlungsempfehlungen für Politik und Wirtschaft ab. Auf Landesebene wird etwa eine verstärkte Aufklärung der Verbraucher und eine Förderung wirtschaftlich attraktiver Modelle für wiederaufbereitete Batterien empfohlen. Auf überregionaler und internationaler Ebene sollten rechtliche Rahmenbedingungen harmonisiert, verbindliche Standards etabliert und Maßnahmen zur Sicherstellung einer transparenten Lieferkette ergriffen werden. Nur durch eine enge Kooperation der Akteure und klare regulatorische Vorgaben kann eine nachhaltige und effiziente Kreislaufwirtschaft für E-Fahrzeugbatterien realisiert werden.

Diese integrative Betrachtung zeigt, dass die zukünftige Gestaltung der End-of-Life-Wertschöpfungskette von E-Fahrzeugbatterien sowohl technologische, wirtschaftliche als auch regulatorische Herausforderungen in sich vereint. Deren ganzheitliche Betrachtung ist essenziell, um den ökologischen und ökonomischen Transformationsprozess im Mobilitätssektor erfolgreich zu gestalten.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
1 Hintergrund	8
2 Akteursanalyse	10
2.1 Literaturrecherche	10
2.2 Betrachtungsrahmen E-Akteur	12
2.3 Akteure in Baden-Württemberg	14
2.3.1 Fahrzeughersteller	16
2.3.2 Batteriehersteller	16
2.3.3 Core-Broker	16
2.3.4 Altfahrzeugdemontagebetriebe (ohne reine Annahmestellen)	16
2.3.5 KFZ-Innungen (als Vertreterinnen der Werkstätten)	19
2.3.6 Recycler	20
2.3.7 Remanufacturer	20
2.3.8 Repurposer	20
2.3.9 Batterietransportiere	21
3 Rechtliche Rahmenbedingungen	22
3.1 Identifikation des rechtlichen Rahmens einer Batteriekreislaufwirtschaft	23
3.1.1 Vorgehensweise	23
3.1.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	24
3.2 Analyse der Akteure der Batteriewertschöpfungskette aus rechtlicher Sicht	26
3.2.1 Vorgehensweise	26
3.2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	27
3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)	30
3.3.1 Vorgehensweise	30
3.3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	31
4 Empirie	37
4.1 Private Endkunden	37
4.1.1 Studiendesign	37
4.1.2 Auswertungsmethodik	38

4.1.3	Ergebnisse	39
4.2	Werkstätten	40
4.2.1	Methodik der Untersuchung	40
4.2.2	Ergebnisse der Werkstattbefragung	41
4.2.3	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	43
4.3	OEMs, Recycler, Altautodemontagebetriebe	44
5	Modellierung und Auswertung	46
5.1	Simulation	46
5.2	Fallstudie	49
5.3	Referenzszenario	49
5.4	Vergleichsszenarien	51
5.5	Auswertung der Fallstudie	52
6	Ableitung von Handlungsempfehlungen	56
6.1	Maßnahmen auf Landesebene	56
6.2	Maßnahmen auf überregionaler und internationaler Ebene	57
6.3	Zusätzliche Empfehlungen im regulatorischen Kontext	58
7	Referenzen	60
	Anhang	66

Abkürzungsverzeichnis

BEV	Batterieelektrisch betriebenes Fahrzeug (Battery Electric Vehicle)
EoL	End-of-Life
EV	Elektrofahrzeug (Electric Vehicle)
LFP	Lithium-Eisenphosphat (Lithium-Ferrophosphat)
NCO	Nickel-Kobalt-Oxid (Nickel Cobalt Oxide)
NMC	Nickel-Mangan-Kobalt (Nickel Manganese Cobalt)
OEM	Originalteilehersteller (Original Equipment Manufacturer)
OES	Originalteilelieferant (Original Equipment Supplier)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Materialfluss im Automobil-Aufarbeitungsmarkt in der EU	12
Abbildung 2: Akteure im Produktfluss einer Antriebsbatterie.....	13
Abbildung 3: Akteure in Baden-Württemberg.....	15
Abbildung 4: Wichtige Akteure aus Sicht der Batterieverordnung.....	29
Abbildung 5: Beispiel für eine Auswahlsituation der befragten Endkunden	37
Abbildung 6: Zusammensetzung der Stichprobe	41
Abbildung 7: Bewertung refabrizierter Ersatzteile	42
Abbildung 8: Zahlungsbereitschaft für verschiedene Ersatzteiloptionen.....	43
Abbildung 9: Simulationslogik	47
Abbildung 10: Abbildung wirtschaftlicher Faktoren (Huster, Heck, et al., 2025)	48
Abbildung 11: Ergebnisse für den Referenzfall.....	53
Abbildung 12: Szenarien im Vergleich zum Referenzfall.....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorien, denen die identifizierten, relevanten Regelungen zugeordnet wurden....	24
Tabelle 2: Identifizierte Regulierungen, die den Rechtsrahmen einer Batteriekreislaufwirtschaft bilden (Betrachtungsebene EU und Deutschland) (I).....	25
Tabelle 3: Identifizierte Regulierungen, die den Rechtsrahmen einer Batteriekreislaufwirtschaft bilden (Betrachtungsebene EU und Deutschland) (II).....	26
Tabelle 4: Auswertung relevanter Rollen pro identifizierte Regelung (Ausschnitt).....	27
Tabelle 5: Auswertung der relevanten Tätigkeiten, die eine Rolle pro identifizierte Regelung konstituieren (Ausschnitt).....	28
Tabelle 6: Auswertung der Pflichten pro Rolle / Akteur bezogen auf die einzelnen Regulierungen (Ausschnitt)	31
Tabelle 7: Ergebnisse der Kundenumfrage	39
Tabelle 8: Batterie-End-of-Life-Aktivitäten der Fahrzeughersteller.....	45
Tabelle 9: Inputparameter des Simulationsmodells inkl. Beschreibung.....	66

1 Hintergrund

Durch die zunehmende Verbreitung von Elektrofahrzeugen ist absehbar, dass es in den kommenden Jahren eine große Anzahl an E-Fahrzeug-Batteriesystemen geben wird, die das Ende ihrer ersten Nutzungsphase im Fahrzeug erreichen und somit zu End-of-Life-Batterien (EoL-Batterien) werden. Um der Herausforderung zu begegnen, diese Batteriemengen ressourcenschonend und umweltbewusst zu verwerten, wird bereits heute vielfältig an Recyclinglösungen geforscht und es werden industrielle Recyclingkapazitäten aufgebaut. Weitere Möglichkeiten zum kreislaufgerechten Umgang mit Batterien, wie die Umnutzung für einen anderen Einsatzzweck (Repurposing) oder die Wiederaufarbeitung für einen erneuten Einsatz im Fahrzeug als Ersatzbatterie (Refabrikation) vor dem finalen Recycling, werden ebenfalls diskutiert, aber in einem deutlich geringeren Umfang. Dies spiegelt sich auch in der öffentlichen und wissenschaftlichen Debatte wider, die im Zusammenhang mit EoL-Batterien vor allem auf Recycler und die Hersteller von Fahrzeugen und Batterien fokussiert. Anderen Akteuren, wie Aufarbeitern, Werkstätten und Kunden, wird weniger Aufmerksamkeit zuteil, obwohl davon auszugehen ist, dass alle Akteure einen Einfluss darauf haben, wie Batterien zukünftig verwertet werden. Ziel dieses Forschungsprojekt war es, die Interessen, Anreize und Hemmnisse der an der kreislaufwirtschaftlichen Wertschöpfung beteiligten Akteure zu erheben, transparent darzustellen und in einem Simulationsmodell abzubilden. Es wurde untersucht, welche politischen und wirtschaftlichen Einflussfaktoren dazu führen, dass Batteriesysteme bestimmten Verwertungswegen zugeführt werden.

Das Projekt gliederte sich in folgende fünf Arbeitspakete:

Arbeitspaket 1 Akteursanalyse: Zunächst wurden die Akteursrollen identifiziert, die an der kreislaufwirtschaftlichen Wertschöpfung von Antriebsbatterien beteiligt sind. Außerdem wurde recherchiert, welche dieser Rollen in Baden-Württemberg vertreten sind. Die Akteure wurden auf einer Baden-Württemberg-Karte verortet.

Arbeitspaket 2 Recht: Im Arbeitspaket „Recht“ wurde eine Übersicht über den Rechtsrahmen erstellt, in dem EoL-Batterien angesiedelt sind. Außerdem wurden die Rechte und Pflichten der einzelnen Akteursrollen identifiziert.

Arbeitspaket 3 Empirie: Um Erkenntnisse zu den Interessen und Beziehungen der Akteure zu erhalten, die über den Stand der Literatur hinausgehen, wurden Interviews und Umfragen durchgeführt.

Arbeitspaket 4 Modellierung: Es wurde ein Simulationsmodell erstellt, mithilfe dessen die Effekte verschiedener Rahmenbedingungen auf die Batteriemengen für die unterschiedlichen Verwertungswägen geschätzt werden können. Dazu wurden sowohl die physischen Stoffströme als auch die Interessen und Verhaltensweisen der beteiligten Akteure abgebildet.

Arbeitspaket 5 Handlungsempfehlungen: Auf Basis der Simulation wurden verschiedene mögliche Zukunftsszenarien betrachtet. Es wurde abgeleitet, wie vonseiten der Politik und Wirtschaft

1 Hintergrund

Anreize gesetzt oder Hemmnisse abgebaut werden können, um bestimmte Verwertungswege zu forcieren.

Im Folgenden werden die Projektergebnisse zusammengefasst. Verweise auf weitere Veröffentlichungen, die für Details konsultiert werden können, sind an den jeweiligen Stellen verlinkt. Alle weiteren Veröffentlichungen sind frei zugänglich.

2 Akteursanalyse

2.1 Literaturrecherche

Verschiedene Akteure sind an der Batterie-Kreislaufwirtschaft beteiligt. Welche das sind, wird in verschiedenen Quellen unterschiedlich definiert. Es besteht jedoch Einigkeit darüber, dass die Zusammenarbeit verschiedener Stakeholder benötigt wird, um eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft zu etablieren (Wrålsen et al. 2021, Kadner et al. 2021). Als Stakeholder werden Gruppen von Individuen bezeichnet, deren Handlungen Entscheidungen innerhalb Unternehmungen, Organisationen, Prozessen oder der Industrie beeinflussen oder die von diesen Entscheidungen beeinflusst werden (Freeman et al. 2010).

Wrålsen et al. (2021) zählen, teilweise mit Verweis auf allgemeine Circular Economy Literatur, Regierungen, Institutionen, Forschungseinrichtungen und Universitäten, Fahrzeugkäufer und -nutzer, Fahrzeughersteller, Zulieferer, Abfallmanager und Recycler, Batteriezellen- und Rohstoffproduzenten und Unternehmen aus den Bereichen öffentlicher Verkehr und erneuerbare Energien zu den Akteuren der Kreislaufwirtschaft von Antriebsbatterien. Wrålsen et al. (2021) lassen unter anderem die Wichtigkeit der Akteure im Batterie-End-of-Life (EoL)-Management von Experten bewerten. Regierungen und Fahrzeughersteller werden als die wichtigsten Akteure angesehen, die gemeinsam einen regulatorischen Rahmen für das End-of-Life (EoL)-Management schaffen können. Batteriezellenhersteller und Recycler werden als Know-How-Träger ebenfalls als wichtig angesehen, um Standards, z.B. für das Recycling, zu entwickeln. Anderen Akteuren, wie potentiellen Nutzern von umgewidmeten Batterien (Unternehmen aus den Bereichen des öffentlichen Verkehrs und der erneuerbaren Energien) und Fahrzeugbesitzern, wird vergleichsweise wenig Bedeutung im EoL-Management zugemessen. Allerdings herrscht hier weniger Einigkeit bei den Experten, was sich in einer höheren Standardabweichung im Akteursranking widerspiegelt.

Olsson et al. (2018) führen Interviews mit Akteuren der Kreislaufwirtschaft von Antriebsbatterien, um Potentiale für zirkuläre Geschäftsmodelle zu erkennen. Als wichtige Stakeholder werden vor allem die Fahrzeughersteller (Original Equipment Manufacturers, OEMs), die Recycling-Industrie, Anbieter von Energiespeichern und Entrepreneure im Bereich der Batterieumnutzung genannt. Die hohe Bedeutung der OEMs liegt vor allem darin begründet, dass sie vermutlich Zugriff auf eine hohe Menge EoL-Batterien haben werden und detaillierte Kenntnisse über die eigenen Batterien haben. Als Recycling-Industrie bezeichnen Olsson et al. (2018) nicht die Batterierecycler, sondern die Altfahrzeugdemontagebetriebe. Sie werden als „natürliche Intermediäre“ zwischen Fahrzeugendnutzern oder OEMs und Second-Life-Anbietern gesehen. Die Bedeutung der Recycling-Industrie begründet sich durch die bereits bestehende Infrastruktur von Fahrzeug-Demontagebetrieben und deren Erfahrung mit der Verwertung von Altfahrzeugen. Die Bestrebungen neuartiger Unternehmungen im Bereich der Umnutzung werden von Olsson et al. (2018) als potentiell bedeutsam eingeschätzt, ähnlich wie die Aktivitäten bestehender Energiespeicher-Anbieter, die Second-Life-Batterien einsetzen. Als weitere an dem Batterie-EoL beteiligte Akteure werden Batteriehersteller, Regierungsorganisationen, Energieversorger, End-

2 Akteursanalyse

2.1 Literaturrecherche

kunden von Antriebsbatterien und Abnehmer und Betreiber von umgenutzten Batterien (Haushalte, Netzbetreiber, Energieversorger etc.) genannt.

Kadner et al. (2021) sehen ebenfalls zahlreiche Akteure an der Kreislaufwirtschaft von Traktionsbatterien beteiligt. Neben den bereits zuvor genannten Fahrzeugherstellern, Zulieferern, Recyclern, Betreibern von stationären Speichern und Nutzern der Batterien, werden hier auch Reparaturbetriebe und Logistiker explizit genannt. Nutzer in der Circular Economy sind sowohl „professionelle Anwender“, z. B. Unternehmen, als auch Verbraucher. Laut Kadner et al. (2021) besteht noch Unklarheit über die genauen Rechte und Pflichten relevanter Akteure in der Kreislaufwirtschaft und es wird der Politik empfohlen, diese Unklarheiten zu beseitigen.

Chirumalla et al. (2022) legen den Fokus auf Akteure der Batterieumnutzung. Am Beispiel der Zweitnutzung von Traktionsbatterien von Bussen wird ein Geschäftsmodell um die Hauptakteure herum, nämlich einen öffentlichen Nahverkehrsbetrieb, eine Gemeinde und einen Energieversorger, aufgestellt.

Es fällt auf, dass zwei Aspekte in der batteriespezifischen Circular-Economy-Literatur hinsichtlich der beteiligten Akteure nur rudimentär betrachtet werden, und zwar erstens der Prozess der Batterierückführung von dem Fahrzeug bis zum End-of-Life-Anbieter, und zweitens der in den Abbildungen der Kreislaufwirtschaft erwähnte Weg der Refabrikation (d. h. Aufarbeitung für den Wiedereinsatz im Fahrzeug). Für beide Punkte ist ein Blick über die Traktionsbatterien hinaus hilfreich, hin zu anderen Produkten, die ebenfalls in der Kreislaufwirtschaft gehalten werden.

So zählen Östlin et al. (2008) Endkunden, Schrottplätze und „Core Broker“ zu den potentiellen Quellen von Altteilen. Als Core Broker werden Unternehmen bezeichnet, die Altteile für die Wiederaufarbeitung zurückführen (STP-Parts n.d.). Außerdem unterscheiden Östlin et al. (2008) Wiederaufarbeiter in Originalteile-Refabrikanten, die die eigenen Produkte aufarbeiten, vertragsgebundene Refabrikanten, die im Auftrag der OEMs bzw. First Tier Suppliers aufarbeiten, und unabhängigen Refabrikanten. Lind et al. (2014) ergänzen die Liste der Altteilelieferanten um unabhängige Autowerkstätten und OEMs. OEMs haben laut Lind et al. (2014) ein eigenes Netzwerk an Händlern und Werkstätten. Klenk et al. (2022) bestätigen die Unterscheidung in unabhängige und vertragsgebundene Werkstätten. Außerdem sehen sie am EoL-Prozess neben Endkunden, Werkstätten, Core Brokern und Aufarbeitern auch noch Sammelstellen und Handelskanäle beteiligt. Die sammelnden Betriebe als Teil der Altteilerückführung sehen auch Abdul-Kader und Haque (2011) als Beteiligte.

Akano et al. (2021) unterscheiden in primäre und sekundäre Stakeholder. Zu den primären zählen OEMs, externe (=nicht-OEM) Aufarbeiter und Konsumenten. Die sekundären Stakeholder sind Designer, Verkäufer, Altteile-Sammler und -Anbieter und lokale Gemeinden und Regierungen. Laut Akano et al. (2021) sollte das Augenmerk vor allem auf den primären Stakeholdern liegen, da die Interessen der anderen Akteure fast immer durch die der primären Akteure abgedeckt sind. Dennoch betonen sie, dass die Entscheidung für eine EoL-Strategie (Recycling, Refabrikation, Wiederverwendung) alle Stakeholder betrifft. Vor allem die Kundenperspektive wird teils vernachlässigt, ist für den Erfolg vor allem der Wiederaufarbeitung aber essenziell, da die Abnahme eines refabrizierten Produkts Kundenakzeptanz voraussetzt. (Akano et al. 2021)

Eine umfassende Untersuchung der Akteure im automobilen Aufarbeitungsmarkt stammt von Kalverkamp und Raabe (2018). Auch wenn die Untersuchung auf Akteure aus der Aufarbeitung fokussiert, wird auch das Recycling betrachtet. Abbildung 1 zeigt die Akteure und die identifizierten Materialflüsse zwischen den Akteuren. Es wird zwischen der Sammlung und Sortierung der Altteile, der Wiederaufarbeitung und der Verteilung der aufgearbeiteten Produkte unterschieden.

2.2 Betrachtungsrahmen E-Akteur

Aus Abschnitt 2.1 ergibt sich ein Bild der Akteure, die an dem Produktfluss einer Batterie von den Endkunden bis zum Recycling beteiligt sind, wie es in Abbildung 2 dargestellt ist. Im Folgenden werden die Akteure und ihre Einbindung in die kreislaufwirtschaftliche Wertschöpfung von Antriebsbatterien beschrieben. Der dargestellte Stand basiert auf der Literatur und stellt die Basis für empirische Untersuchungen dar, mit denen die angenommene Struktur verifiziert oder falsifiziert und erweitert werden kann.

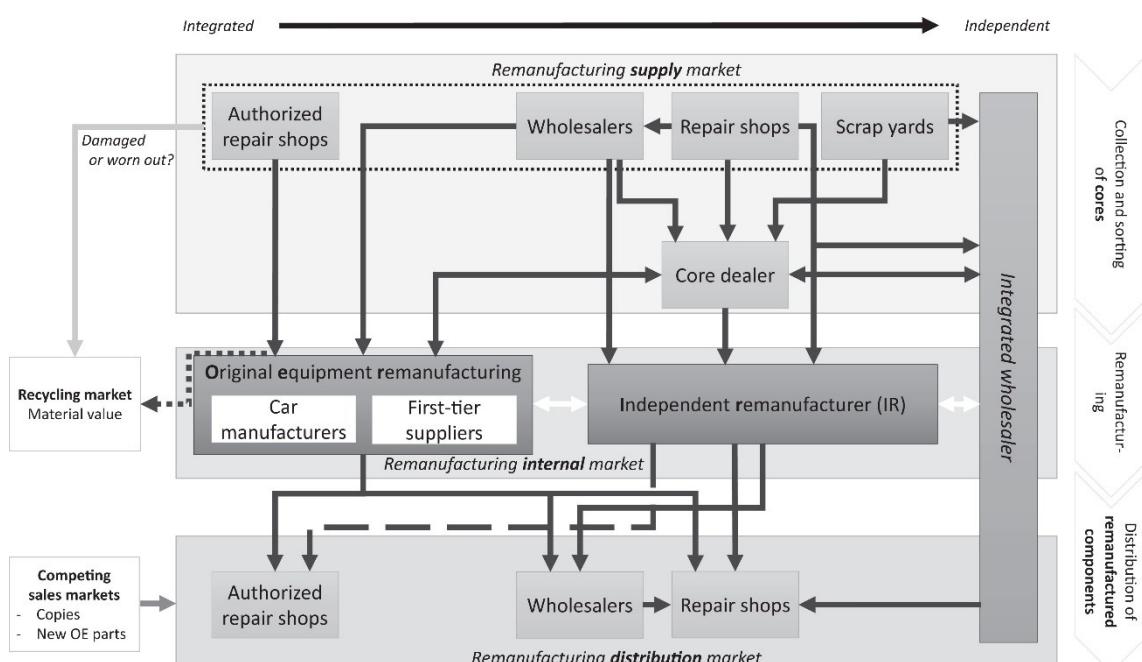


Abbildung 1: Materialfluss im Automobil-Aufarbeitungsmarkt in der EU (Kalverkamp und Raabe, Journal of Macromarketing (Vol. 38 (1)) S. 112-130. Copyright © 2017 The Author(s). Nachdruck mit Genehmigung von Sage Publications). Weiße Pfeile: Vertragsbeziehungen. Gepunktete Pfeile: Unerwünschter Fluss von „Wiederverwendung“ zu „Recycling“. Andere Pfeile: Austausch oder Transaktionen.

Endkunden: Batterien befinden sich zu Beginn des Prozesses im Fahrzeug verbaut im Eigentum der Endkunden. Endkunden können sowohl Privatpersonen als auch Unternehmungen sein. Der Endkunde bringt das Fahrzeug samt Batterie zwecks Reparatur oder endgültiger Aufgabe zu einer Werkstatt oder einer sonstigen Altautoannahmestelle. Im Falle eines Batteriewechsels sind Endkunde nicht nur „Lieferanten“ einer EoL-Batterie, sondern erhalten auch Ersatzbatterien, die neu oder aufgearbeitet sein können. Die Kunden können somit sowohl das Angebot an Altbatterien als auch die Nachfrage nach wiederaufgearbeiteten Batterien beeinflussen.

2 Akteursanalyse

2.2 Betrachtungsrahmen E-Akteur

Werkstätten: Freie Autowerkstätten und solche, die einem OEM angegliedert sind, nehmen Elektrofahrzeuge entgegen. Im Fall eines Batterietauschs bauen sie die alten Batterien aus und bauen Ersatzbatterien ein. Bei den Ersatzbatterien kann es sich um Neuware oder um aufgearbeitete Batterien handeln. Die freien Werkstätten können über ihr Sortiment entscheiden, während die OEM-Werkstätten Vorgaben des OEMs, wenn vorhanden, umsetzen müssen. Die Werkstätten beziehen die Batterien von Großhändlern. Ausgebaute Batterien können mittels Logistikdienstleistern an den OEM oder OES, an Core Broker, an unabhängige Aufarbeiter oder Umnutzer oder an Recycler übergeben werden. Ganze Fahrzeuge können eventuell auch an Demontagebetriebe übergeben werden.

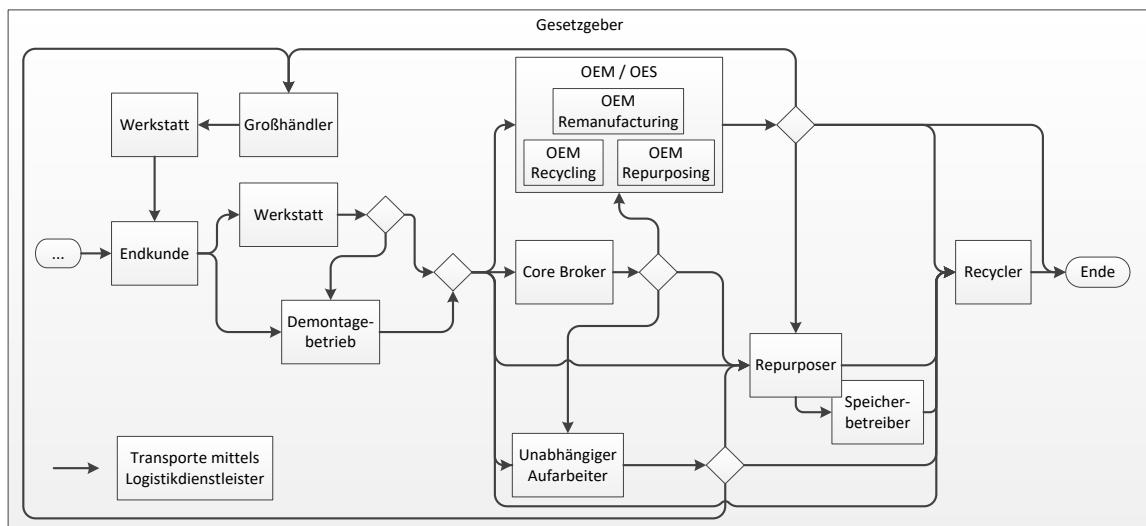


Abbildung 2: Akteure im Produktfluss einer Antriebsbatterie von den Endkunden bis zum Recycling

Demontagebetriebe: Altfahrzeugdemontagebetriebe, die auch Altautoannahmestellen sind, können Fahrzeuge von Kunden oder von Werkstätten annehmen. Sie demontieren das Fahrzeug mindestens so weit, dass das Batteriesystem einzeln vorliegt. Eventuell findet auch eine weitergehende Demontage des Batteriesystems auf Modul- oder Zellebene statt. Der mögliche weitere Produktfluss der Batterie, der Module oder der Zellen ist, analog zu dem der Werkstätten, zu OEMs/OESs, Core Brokern, unabhängigen Aufarbeitern oder Umnutzern oder Recyclern.

OEM/OES: Original Equipment Manufacturer (OEM) oder Supplier (OES) können von Werkstätten, Demontagebetrieben oder beauftragten Core Brokern Antriebsbatterien erhalten. Sie können die Batterien dann entweder selbst wiederaufarbeiten, umnutzen oder recyceln, oder externe Unternehmen damit beauftragen bzw. externen Unternehmen die Batterien zu diesem Zweck verkaufen, je nach Erlösfrage. Im Falle der Umnutzung steht es ihnen auch frei, selbst als Betreiber eines Groß- oder Industriespeichers zu fungieren.

Core Broker: Die Rolle von Core Brokern ist vor allem bei der Refabrikation von Teilen relevant. Core Broker sammeln Altteile, vor allem von Werkstätten, beurteilen die Qualität und geben die geeigneten Teile an Aufarbeiter weiter. Geschieht dies im Auftrag eines OEMs/OESs, werden die Altteile zur Wiederaufarbeitung („Cores“) an den OEM/OES übergeben. Unabhängige Core Bro-

ker, die auch unabhängige Aufarbeiter oder Umnutzer beliefern, sind ebenfalls möglich. Nicht zur Aufarbeitung geeignete Altteile werden dem Recycling zugeführt.

Unabhängige Aufarbeiter: Neben OEMs/OESs können auch unabhängige Aufarbeiter gebrauchte Batterien generalüberholen und über den Großhandel in den automobilen Ersatzteilemarkt einspielen. Zur Aufarbeitung gehört die Prüfung, Demontage, Reparatur, Remontage und das erneute Testen der Batterien.

Repurposer: Auch die Umnutzung für den nicht-automobilen Zweck kann bei OEMs oder bei unabhängigen Unternehmen stattfinden. Grundsätzlich sind Anwendungen im Industriebereich und im Heimbereich (Heimspeicher) denkbar. Aufgrund des deutlich höheren Speicherbedarfs in Industrieanwendungen und der potentiellen Schwierigkeit, Heimspeicher im Anschluss an die Nutzung wieder zu sammeln, ist hier nur das Repurposing für industriell betriebene Speicheranlagen gemeint. Zu den Aufgaben des Reposers gehört das Testen und gegebenenfalls Demontieren und Rekonfigurieren des Batteriesystems. Der Repurposer kann das Speichersystem aus zweitgenutzten Batterien selbst betreiben oder an einen Speicherbetreiber verkaufen/vermieten.

Speicherbetreiber: Der Betreiber eines Großspeichers aus gebrauchten Antriebsbatterien kann z. B. ein Industrieunternehmen oder ein Energieversorger sein.

Großhändler: Der Großhändler von Ersatz-Antriebsbatterien kann aufgearbeitete Batterien in sein Sortiment aufnehmen und sie Werkstätten anbieten.

Logistikdienstleister: Sämtliche Materialflüsse werden voraussichtlich von Logistikdienstleistern oder OEM-eigenen Logistikern übernommen. Zu transportieren sind sowohl Elektrofahrzeuge mit beschädigter und unbeschädigter Batterie als auch ganze Batteriesysteme, Module und Zellen.

Recycler: Am Ende ihres Lebens sind Batterien verpflichtend zu recyceln. Dies kann durch den OEM oder durch Dritte erfolgen. Es kommen verschiedene Recyclingverfahren zum Einsatz. Im Rahmen der Betrachtung der Akteure der kreislaufwirtschaftlichen Wertschöpfung von Traktionsbatterien werden Recycler jedoch als eine Gruppe betrachtet.

Gesetzgeber: Der Gesetzgeber setzt den Rahmen, innerhalb dessen die anderen Akteure handeln dürfen.

2.3 Akteure in Baden-Württemberg

Abbildung 3 zeigt konkrete Unternehmen, die die Akteursrollen in Baden-Württemberg belegen. Dabei wird unterschieden zwischen Fahrzeugherstellern, Batterieherstellern, Core-Brokern, Alt-fahrzeugdemontagebetrieben, Recycling-, Remanufacturing- und Repurposing-Unternehmen und Transportunternehmen für Batterien. Außerdem sind die KFZ-Innungen Baden-Württembergs als Vertreterinnen der KFZ-Werkstätten aufgeführt. Ausgelassen wurden Altfahrzeugannahmestellen, die keine Demontagebetriebe sind, und Endkunden. Außerdem wurden Großhändler aufgrund ihrer untergeordneten Rolle in der Entscheidung für oder gegen einen

2 Akteursanalyse

2.3 Akteure in Baden-Württemberg

kreislaufwirtschaftlichen Verwertungsweg für Traktionsbatterien ausgelassen. Gesetzgebende Stellen wurden ebenfalls nicht eingezeichnet aufgrund ihrer flächendeckenden Wirkung.

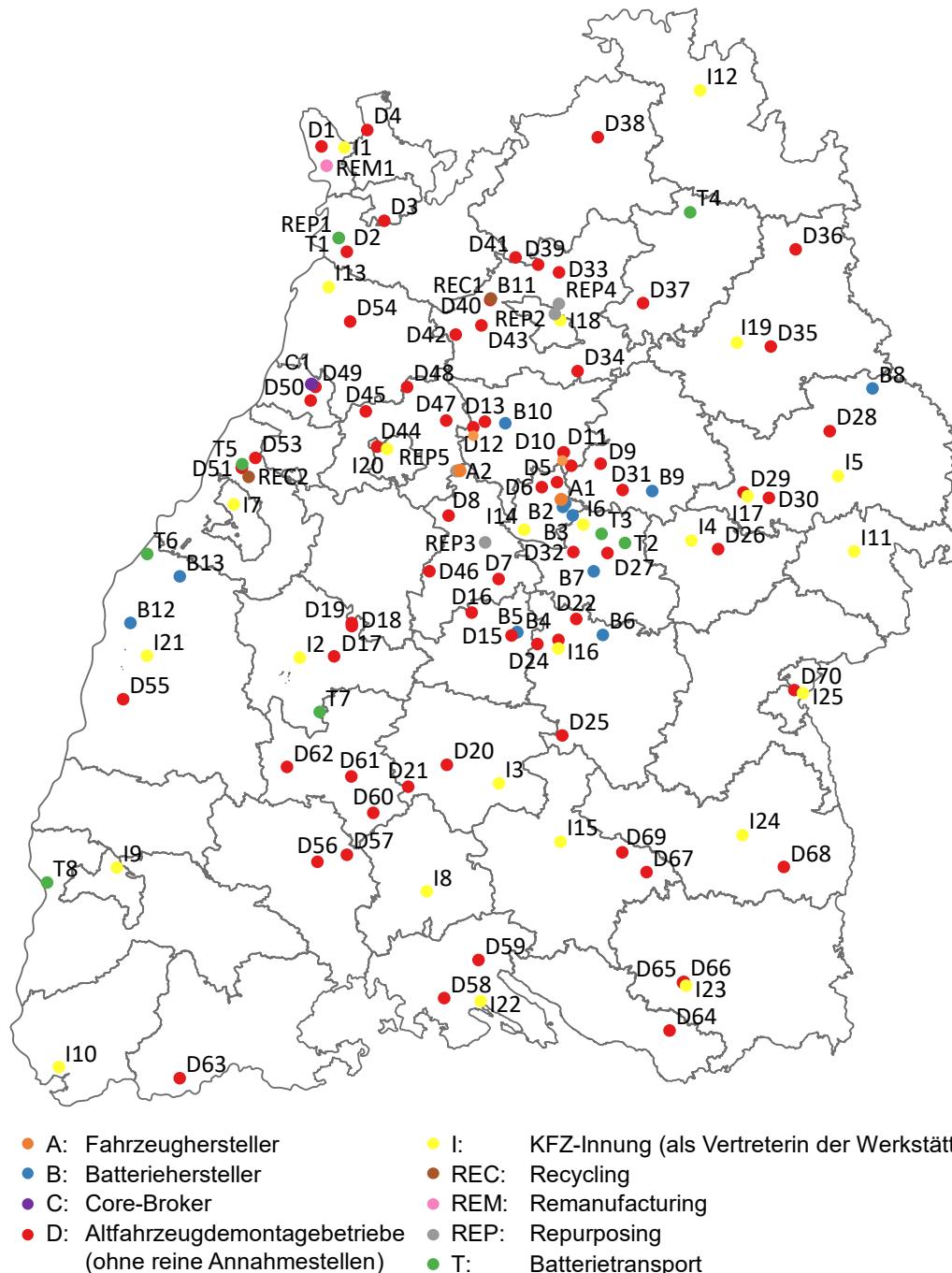


Abbildung 3: Akteure in Baden-Württemberg

2.3.1 Fahrzeughersteller

	Unternehmen	Ort	Website
A1	Mercedes-Benz AG	Stuttgart	https://group.mercedes-benz.com/
A2	Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG	Weissach	https://www.porscheengineering.com/

2.3.2 Batteriehersteller

	Unternehmen	Ort	Website
B1	Mercedes-Benz AG eCampus Untertürkheim	Stuttgart	https://group.mercedes-benz.com/
B2	Hofer powertrain	Stuttgart	https://www.hoferpowertrain.com/
B3	Mercedes-Benz Werk Hedelfingen	Stuttgart	https://group.mercedes-benz.com/
B4	Cellforce Group GmbH	Tübingen	https://www.cellforce.de/
B5	Customcells Tübingen GmbH	Tübingen	https://www.cct-batteries.com/
B6	ElringKlinger AG	Dettingen	https://www.elringklinger.de/de
B7	Hofer powertrain	Nürtingen	https://www.hoferpowertrain.com/
B8	VARTA AG	Ellwangen	https://www.varta-ag.com/
B9	Akku Power GmbH	Schorndorf	https://akku-power.com
B10	DRÄXLMAIER Group Sachsenheim	Sachsenheim	https://www.draexlmaier.com/
B11	Valmet Automotive Solutions GmbH	Kirchardt	https://www.valmet-automotive.com/
B12	Leclanché SA	Willstätt	https://www.leclanche.com/de/
B13	fischer Power Solutions GmbH	Achern	https://www.fischer-power-solutions.com/de

2.3.3 Core-Broker

	Unternehmen	Ort	Website
C1	Circular Economy Solutions GmbH	Karlsruhe	https://www.c-eco.com/

2.3.4 Altfahrzeugdemontagebetriebe (ohne reine Annahmestellen)

	Unternehmen	Ort	Website
D1	R.S. Abschleppdienst KG	Mannheim	https://rs-mannheim.de/
D2	Autoverwertung Christ GmbH Annahme, Trockenlegung u. Demontage	Reilingen	http://www.autoverwertung-christ.de/
D3	Autoverwertung Bakarozos	Heidelberg	https://auto-bakarozos.de/index.html
D4	Billo Automobil GmbH	Weinheim	https://www.billo-automobil.de/
D5	Autoverwertung Kabashi	Stuttgart	http://www.autoverwertung-kabashi.de/

2 Akteursanalyse

2.3 Akteure in Baden-Württemberg

	Fatima Kabashi		
D6	Karle Recycling GmbH	Stuttgart	https://www.karlerecycling.de/
D7	Böpple Automotive GmbH	Weil im Schönbuch	https://www.boepple-transporte.de/UP1/index.php/about/
D8	Autoverwertung Gauger	Weil der Stadt	
D9	Autoverwertung Adel	Schwaikheim	
	Hosseini Autoverwertung		
D10	Autoverwertung Rems Murr GmbH	Ludwigsburg	https://ludwigsburg-autoverwertung.de/unternehmen/
D11	Reiner Mack	Ludwigsburg	https://www.autoverwertung-mack.de/
D12	Autoverwertung Seel	Vaihingen-Enz	https://www.autoverwertung-seel.de/
D13	H. Bernhardt Altmaterialien, Autoverwertung, Müll, Bau-gerätevermietung und Transporte e.K.	Vaihingen-Enz	http://www.h-bernhardt.de/
D14	Autoverwertung Aldingen Aynur Ketenci	Remseck-Aldingen	https://av-alldingen.de/
D15	AV Möck GmbH	Tübingen	https://www.av-moeck.de/de
D16	STEINEL Recycling GmbH + Co KG	Ammerbuch	https://www.steinel-recycling.de/entsorgung_recycling/
D17	Gässler Recycling Inhaber Werner Gässler	Dornstetten	http://www.gaessler-recycling.de/
D18	Auto-Teile-Schmidt	Pfalzgrafen-weiler	https://www.autoteile-schmidt.de/startseite.html
D19	Gebr. Batt GmbH	Pfalzgrafen-weiler	https://www.gebr-batt.de/#
D20	Ritzmann Fahrzeugteile	Balingen	http://www.ritzmann-fahrzeugteile.de/
D21	Rohstoffhandel Container-dienst & Altautoverwertung	Schömberg	
D22	Philippidis	Metzingen	https://www.philippidis.de/
D23	Autoverwertung Adebo-Klauss	Reutlingen	
D24	Autotar Viktor Im- und Export GmbH	Reutlingen	
D25	Göggel Autoverwertung	Trochtelfingen	https://autoverwertung-goeggel.de/
D26	MOLDASCHL GMBH	Eislingen	https://www.moldaschl-demontagen.de/
D27	Autohaus Gross GmbH & Co. KG	Königen	http://www.gross-gruppe.com/
D28	Autoverwertung Heilig GbR	Neuler	https://www.autoverwertung-heilig.de/
D29	Kadamani Autoverwertung	Schwäbisch Gmünd	
D30	Scholz Recycling GmbH	Schwäbisch Gmünd	https://www.scholz-recycling.com/zertifikate/
D31	Autoverwertung Rems Murr GmbH	Remshalden	https://www.autoverwertung-rems-murr.de/
D32	MB GTC GmbH Mercedes-Benz Gebrauchtteile Center	Neuhausen auf den Fil dern	https://www.mbgtc.de/
D33	Autoverwertung Bender	Bad Friedrichshall	http://www.bender-autoverwertung.de/

2.3 Akteure in Baden-Württemberg

D34	Automobile Hans Schwarz	Auenstein	http://www.auto-verwertung-schwarz.de/entsorgung.html
D35	Gebrüder Keller AVK	Vellberg	https://www.autoverwertung-keller.de/
D36	Koder Autoverwertung	Blaufelden	https://www.autoverwertungkoder.de/
D37	Autoverwertung Weiser GmbH	Öhringen	https://www.schrottplatz-oehringen.de/
D38	Henk GmbH & Co.KG	Buchen	https://schrottplatz.de/
D39	Adel e.K.	Gundelsheim	https://www.adel-ek.com/
D40	Herfel Autoverwertung e.K.	Kirchardt	https://www.herfel-autoverwertung.de/
D41	Autoverwertung Andreas Schlauch	Hüffenhardt	http://www.autoverwertung-schlauch.de
D42	Autoverwertung Kaygun	Eppingen	https://www.autoverwertung-kaygun.de/
D43	Autoverwertung Neumann GmbH & Co. KG	Gemmingen	http://www.autoverwertung-gemmingen.de/
D44	Auto-Schirdewan GmbH	Pforzheim	www.schirdewan.de
D45	Frey Containerdienst GmbH	Königsbach-Stein	https://frey-containerdienst.de/
D46	Willi Lutz GmbH & Co. KG	Deckenpfronn	https://www.willi-lutz.de/
D47	AZ Autoverwertung Antonino Di Stefano	Mühlacker	
D48	Autoverwertung Knittlingen GmbH	Knittlingen	http://autoverwertung-knittlingen.de/
D49	Auto Schlindwein GmbH	Karlsruhe	https://autowerkstatt-karlsruhe.com/
D50	Auto-Böhler GmbH	Karlsruhe	https://auto-boehler.de/
D51	Grünbacher Autoverwertung GmbH	Rastatt	https://www.gruenbacher-gmbh.de/
D52	TEM Autoverwertung & Ersatzteile	Rastatt	https://www.auto-tem.de/
D53	Aam-Autorecycling	Muggensturm	https://www.aam-autorecycling.de/
D54	Auto Hellas	Forst	https://www.auto-hellas.de/index.html
D55	Fechner GmbH	Friesenheim	https://www.autoverwertung-fechner.de/
D56	FAHRZEUGRECYCLING KÜHN E.K.	Villingen-Schwenningen	http://www.fahrzeugrecycling-kuehn.com/
D57	Renz Autorecycling Inh. Gerhard Renz	Villingen-Schwenningen	http://www.renz-auto.de/
D58	DILSE Rohstoffhandel GmbH	Singen	https://www.dilse-rohstoffhandel.de/
D59	SELIGER AUTOTEILE GMBH & CO. KG	Stockach	https://www.seliger-autoteile.de/
D60	Mielnik GmbH	Rottweil	https://www.mielnik.de
D61	Bihl GmbH	Bösingen-Herrenzimmern	https://www.bihl-gmbh.de/
D62	Wöhrle Rohstoffrecycling GmbH	Schramberg	https://schrott-woehrle.de/de/
D63	Autoteile Schwald	Murg	https://www.avschwald.de/index.htm
D64	Kibele GmbH	Meckenbeuren	http://www.kibele.de/

2 Akteursanalyse

2.3 Akteure in Baden-Württemberg

D65	Auto-Teile-Markt Peuker oHG	Ravensburg	https://www.auto-teile-markt.net/
D66	Bausch GmbH	Ravensburg	https://www.bausch-entsorgung.de/
D67	Auto- + Teilehandel Fischer	Bad Saulgau	http://www.autoverwertung-fischer.de/
D68	Autoverwertung Frankenhauser	Rottum bei Steinhausen	https://www.autoverwertung-frankenhauser.de/
D69	Shredderwerk Herbertingen GmbH	Herbertingen	https://www.swh-herbertingen.de/
D70	Maucher Service GmbH	Ulm	https://www.maucher.biz/

2.3.5 KFZ-Innungen (als Vertreterinnen der Werkstätten)

	Unternehmen	Ort	Website
I1	Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe Rhein-Neckar-Odenwald	Mannheim	https://www.kfz-innung-rno.de/
I2	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Freudenstadt-Calw	Freudenstadt	https://kfzinnung-fds-cw.de/
I3	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Zollern-Alb	Albstadt	
I4	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Göppingen	Göppingen	https://www.kfz-innung-gp.de/
I5	Innung des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes Aalen	Aalen	
I6	Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe Innung Nürtingen-Kirchheim unter Teck	Esslingen a. N.	https://www.kfzinnung.de/
I7	Innung Mittelbaden	Baden-Baden	www.kfz-innung-mittelbaden.de
I8	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Tuttlingen-Rottweil	Tuttlingen	
I9	Kfz-Innung Freiburg	Freiburg	https://www.kfz-innung-freiburg.org/
I10	Innung für das Kraftfahrzeughandwerk Lörrach	Lörrach	https://www.kreishandwerkerschaft.de/innungen/kfz-innung/
I11	Innung des Kraftfahrzeughandwerks Heidenheim	Heidenheim	https://www.khs-hdh.de/innungen/
I12	Innung des Kraftfahrzeughandwerks Tauberbischofsheim	Tauberbischofsheim	
I13	Innung des Kraftfahrzeug-Gewerbes Bruchsal	Waghäusel	http://www.kfz-innung-bruchsal.de/
I14	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Region Stuttgart	Stuttgart	https://www.kfz-innung-stuttgart.de/
I15	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Sigmaringen	Sigmaringen	https://handwerk-sig.de/innungen/kfz-innung/
I16	Innung des Kfz-Gewerbes Reutlingen-Tübingen	Reutlingen	https://www.kfz-innung-rt.de/
I17	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Schwäbisch Gmünd	Schwäbisch Gmünd	
I18	Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe Innung Heilbronn-Öhringen	Heilbronn	https://www.kfz-innung-hn.de/

I19	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Hohenlohe-Franken	Schwäbisch Hall- Hessental	https://www.kfz-innung-hohenlohe-franken.de/
I20	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Pforzheim-Enzkreis	Pforzheim	https://audole.de/
I21	Kraftfahrzeug-Innung Ortenau	Offenburg	https://kfzinnung-ortenau.de/
I22	Innung des Kfz-Gewerbes Bodensee Hochrhein Schwarzwald	Radolfzell	https://www.kfz-innung-bhs.de/
I23	Innung des Kraftfahrzeuggewerbes Bodensee-Oberschwaben	Ravensburg	https://kreishandwerkerschaft-rv.de/innungen-betriebe/
I24	Innung des Kraftfahrzeug-Gewerbes Biberach	Biberach	https://kreishandwerkerschaft-bc.de/innungen/innung-des-kfz-gewerbes/
I25	Innung des Kraftfahrzeug-Gewerbes Ulm	Ulm	https://www.kfz-innung-ulm.de/

2.3.6 Recycler

	Unternehmen	Ort	Website
REC1	Fortum Batterie Recycling GmbH	Kirchardt	https://www.fortum.com/services/battery-recycling
REC2	Mercedes Benz Energy / LICULAR GmbH	Kuppenheim	https://group.mercedes-benz.com/unternehmen/news/recyclingfabrik-kuppenheim.html ; https://www.licular.com/

2.3.7 Remanufacturer

	Unternehmen	Ort	Website
REM1	Mercedes Benz AG	Mannheim	https://group.mercedes-benz.com/nachhaltigkeit/ressourcen/batterie.html

2.3.8 Repurposer

	Unternehmen	Ort	Website
REP1	DellCon GmbH	Hockenheim	https://dellcon.de/
REP2	Audi und EnBW	Heilbronn	https://www.enbw.com/unternehmen/press/e/audi-und-enbw-kooperieren-bei-batteriespeichern.html
REP3	Mercedes Benz Werk Sindelfingen	Sindelfingen	https://group.mercedes-benz.com/nachhaltigkeit/ressourcen/batterie.html
REP4	Audi	Neckarsulm	https://www.audi-mediacenter.com/de/pressemitteilungen/second-life-anwendung-audi-e-tron-batteriemodule-elektrifizieren-rikschas-in-indien-14745

2 Akteursanalyse

2.3 Akteure in Baden-Württemberg

REP5	Porsche	Weissach	https://newsroom.porsche.com/de_CH/2022/innovation/porsche-hochvolt-batterie-reparatur-handel-27984.html
-------------	---------	----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.3.9 Batterietransporteure

	Unternehmen	Ort	Website
T1	DellCon GmbH	Hockenheim	https://dellcon.de/
T2	LogBATT GmbH	Plochingen	https://www.logbatt.de/
T3	Böpple Automotive GmbH	Esslingen am Neckar	https://www.boepple-transporte.de/UP1/index.php/about/
T4	REMONDIS Industrie Service GmbH & Co. KG	Krautheim	https://www.remondis-industrie-service.de/leistungen/lithium-ionen-akkus-entsorgen/
T5	REMONDIS Industrie Service GmbH & Co. KG	Rastatt	https://www.remondis-industrie-service.de/leistungen/lithium-ionen-akkus-entsorgen/
T6	REMONDIS Industrie Service GmbH & Co. KG	Rheinau	https://www.remondis-industrie-service.de/leistungen/lithium-ionen-akkus-entsorgen/
T7	REMONDIS Industrie Service GmbH & Co. KG	Loßburg	https://www.remondis-industrie-service.de/leistungen/lithium-ionen-akkus-entsorgen/
T8	REMONDIS Industrie Service GmbH & Co. KG	Breisach am Rhein	https://www.remondis-industrie-service.de/leistungen/lithium-ionen-akkus-entsorgen/

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Der Umgang mit Elektrofahrzeugbatterien (im Folgenden kurz: Batterien) in einer anvisierten Kreislaufwirtschaft wird maßgeblich auch durch den rechtlichen Rahmen mitbestimmt. Er nimmt sowohl Einfluss auf die physischen Ströme als auch auf die begleitenden Informationsströme der Batterien und ihrer Bestandteile.

Die Regelungen sind mit mittlerweile einem komplexen Zielsystem verbunden: Neben wirtschaftlichen Zielen (wie etwa dem Erhalt von Arbeitsplätzen, Versorgungssicherheit), stehen ambitionierte Umwelt- und Klimaziele (bspw. Sicherheit, Erreichung von Recyclingzielen, Reduktion von Schadstoffen, Reduktion von CO₂-Emmissionen), die mit Zielen der sozialen Nachhaltigkeit in Einklang gebracht werden sollen. Erreichbar sind solch ehrgeizige Ziele nur über einen angemessenen Zeithorizont. Daher finden sich in entsprechenden Regelungen meist Übergangszeiträume, in denen die Regelungen erst nach und nach in Kraft treten und ihren vollen Wirkungsumfang erreichen.

Jeder einzelne Akteur (im Sinne von „Rollen“, die unter den Regulierungen eingenommen werden) der Batteriewertschöpfungskette soll zur Zielerreichung beitragen, daher werden den Akteuren im Rahmen der Regelungen vielfältige, zeitlich gestaffelte Rechte und Pflichten zugeordnet.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel des Arbeitspaketes, den rechtlichen Rahmen zur Handhabung von Batterien zu analysieren. Dabei wurden mehrere Zielsetzungen verfolgt.

Zunächst sollte der rechtliche Rahmen hinsichtlich der Batterie-Kreislaufwirtschaft auf EU-Ebene und Deutschland erfasst werden, wobei der Fokus auf Regelungen der Phasen der Umnutzung und Wiederaufbereitung liegen sollte.

Hierauf folgend sollten die typischen Akteure der Batteriewertschöpfungskette aus rechtlicher Sicht identifiziert werden. Damit sollte offengelegt werden, ob noch weitere Rollen / Akteure (siehe Abschnitt 2.2) berücksichtigt werden müssen und inwiefern die Akteure aus Abschnitt 2.2 umgekehrt im Anwendungsbereich der Regelungen erfasst sind (ggf. Ergänzung der Rollen / Akteure).

Folgend wird aufgezeigt, wie sich diese Regelungen auf die Umnutzung und Wiederaufbereitung von Batterien auswirken könnten.

Schließlich werden aus der Analyse Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger abgeleitet, sofern sich im Hinblick auf die Regelungen Verbesserungspotentiale identifizieren lassen (siehe Abschnitt 6).

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.1 Identifikation des rechtlichen Rahmens einer Batteriekreislaufwirtschaft

3.1 Identifikation des rechtlichen Rahmens einer Batteriekreislaufwirtschaft

3.1.1 Vorgehensweise

Um den rechtlichen Rahmen einer Batteriekreislaufwirtschaft für Elektrofahrzeugbatterien zu identifizieren, wurde zunächst eine umfassende Recherche mithilfe der kostenpflichtigen Datenbank Compliance2Product (C2P) der Firma Compliance & Risks (Compliance & Risks 2023) durchgeführt. Die Recherche wurde iterativ präzisiert. Die Recherche wurde mit der vollständigen Bibliothek C2P durchgeführt (Start mit 96.782 Einträgen). Zu Beginn der Recherche wurden die Datenbankeinträge sukzessive über vordefinierte Filterfunktionen sortiert.

Zunächst wurden die Datenbankeinträge auf jene Einträge beschränkt, die Batterien und spezifischer Elektrofahrzeugbatterien betreffen, auf Ebene der EU und/oder Deutschland relevant sind und über einen Status verfügten (etwa „in Kraft getreten“, „angenommen“), der rechtliche Auswirkungen wahrscheinlich machte. Auf diese Weise wurden etwa rein informative Dokumente oder begleitende Dokumente ausgeschlossen. Insgesamt belief sich die Zahl der für die weitere Betrachtung potenziell relevanten Einträge auf 887 Einträge.

In einem weiteren Schritt wurden die Ergebnisse „bereinigt“. Dabei wurden etwa zusammenhängende Einträge (bspw. Änderungen, Ergänzungen zum selben Gesetz) auf die grundlegende Regulierung reduziert. Internationale Konventionen (etwa Stockholmer Konvention) sowie Standards wurden ebenfalls entfernt, da sie keine unmittelbare gesetzliche Wirkung besitzen (stattdessen wurden aber entsprechende Regulierungen auf EU-Ebene wie etwa die POP-Verordnung weitergeführt). Zudem wurden Regulierungen entfernt, die nach Prüfung keinen Bezug zur Batteriekreislaufwirtschaft aufwiesen und den betrieblichen Umwelt- und Arbeitsschutz in den Mittelpunkt stellten (wobei jedoch Transportregelungen weiter mitgeführt wurden). Im Ergebnis konnten die Einträge auf insgesamt 22 potenziell relevante Regelungen reduziert werden.

Im dritten Schritt wurden die verbleibenden Datenbankeinträge weiter strukturiert und kategorisiert. Hierzu wurden die Datenbankeinträge gesichtet. Pro Eintrag wurden Kategorien und thematische Schwerpunkte vermerkt. Insgesamt wurden die einzelnen Regelungen / Einträge drei Kategorien zugeordnet.

Mithilfe dieser Vorsortierung und Kategorisierung sollten nur jene Regulierungen für die weitere Betrachtung verbleiben, die einen unmittelbaren Bezug zum Produkt „Elektrofahrzeugbatterie“ aufwiesen, sowie Regelungen zum Batteriekreislauf und den Phasen „Umnutzung“ und „Wiederaufbereitung“ bereithielten. Dabei wurde (etwa über die Kategorisierung) bewusst berücksichtigt, dass eine Elektrofahrzeugbatterie in den sachlichen Anwendungsbereich verschiedener Regulierungen fallen kann (bspw. spezifische, vertikale vs. allgemeinere, horizontale Regulierungen). Auf diese Weise wurde ein umfangreicher Rechtsrahmen abgesteckt.

In den folgenden Schritten wurden die einzelnen Regelungen einer tieferen Analyse unterzogen (siehe nachfolgende Unterkapitel).

3.1 Identifikation des rechtlichen Rahmens einer Batteriekreislaufwirtschaft

Tabelle 1: Kategorien, denen die identifizierten, relevanten Regelungen zugeordnet wurden

Kategorie	Relevante vertikale Gesetze	Relevante horizontale Gesetze (unmittelbarer Bezug)	Horizontale Gesetze (mittelbarer Bezug)
Beschreibung	Regelungen, die einen direkten Produktbezug zu Elektrofahrzeugbatterien aufweisen	Regelungen, die einen unmittelbaren Bezug zu Elektrofahrzeugbatterien besitzen (etwa Batterie = Erzeugnis -> Betroffenheit durch REACH)	Regelungen, die lediglich einen mittelbaren Bezug zu Elektrofahrzeugbatterien und den direkten / unmittelbaren Regelungen besitzen (etwa über Regelungen zu kritischen Rohstoffen, Ökodesign)

3.1.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

In folgenden Tabellen 2 und 3 sind die 22 Regulierungen aufgelistet, die im Kontext des Projekts als wesentlicher Rechtsrahmen für eine Batteriekreislaufwirtschaft – mit Fokus auf Elektrofahrzeugbatterien sowie die Phasen „Umnutzung“ und „Wiederaufbereitung“ – gemäß der oben dargestellten Vorgehensweise identifiziert wurden (über den Link sind die jeweiligen Regelungen abrufbar, Stand: 20.02.2025)).

Der so verdichtete rechtliche Rahmen wurde in einem Workshop Teilnehmern aus der Batteriewirtschaft vorgestellt. Anschließend wurde Feedback erbeten, ob noch weitere Regelungen für den benannten Fokus heranzuziehen sind. Die Teilnehmer hatten keine weiteren Ergänzungen. Der Rechtsrahmen wurde für den Fokus als „vollständig“ wahrgenommen.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.1 Identifikation des rechtlichen Rahmens einer Batteriekreislaufwirtschaft

Tabelle 2: Identifizierte Regulierungen, die den Rechtsrahmen einer Batteriekreislaufwirtschaft bilden (Betrachtungsebene EU und Deutschland) (I)

Nr. Nummer	Kategorie	Regulierungsbezeichnung (lang)	Kurzname	Geographischer Anwendungsbereich	(Relevanten) Sachlicher Anwendungsbereich	Regulierungs- typ	Status	Referenz / Link
1	Vertikal	Verordnung (EU) 2023/1542 des europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Akkumulatoren, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG	Batterieverordnung	EU	Batterien	EU Verordnung	In Kraft	Link
2	Vertikal	Richtlinie 2006/66/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Akkumulatoren und Altakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG	Batterierichtlinie	EU	Batterien	EU Richtlinie	In Kraft (soll jedoch durch Batterieverordnung abgelöst werden)	Link
3	Vertikal	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batterigesetz - BattG)	BattG	Deutschland	Batterien	Nationales Gesetz	In Kraft (soll jedoch durch Batterieverordnung abgelöst werden)	Link
4	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt	ProdSG	Deutschland	Alle Produkte - mit einzelnen Ausnahmen, Batterien sind nicht kategorisch ausgeschlossen	Nationales Gesetz	In Kraft	Link
5	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte	ProdHaftG	Deutschland	Wird durch den Fehler eines Produkts jemand getötet, sein Körper oder seine Gesundheit verletzt oder eine Sache beschädigt, so ist der Hersteller des Produkts verpflichtet, dem Geschädigten den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen.	Nationales Gesetz	In Kraft	Link
6	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Richtlinie (EU) 2024/2853 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2024 über die Haftung für fehlerhafte Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 85/374/EWG des Rates	Produkthaftungs- Richtlinie	EU	Mitgliedstaaten stellen sicher, dass jede natürliche Person, die einen durch ein fehlerhaftes Produkt verursachten Schaden erleidet, Anspruch auf Schadensersatz gemäß dieser Richtlinie hat.	EU	In Kraft	Link
7	Horizontal (mittelbarer Bezug)	Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten	LkSG	Deutschland	(1) Dieses Gesetz ist anzuwenden auf Unternehmen ungeachtet ihrer Rechtsform, die 1. ihre Hauptverwaltung, ihre Hauptniederlassung, ihren Verwaltungssitz oder ihren satzungsmäßigen Sitz im Inland haben und 2. in der Regel mindestens 3 000 Arbeitnehmer im Inland beschäftigen; ins Ausland entsandte Arbeitnehmer sind erfasst. Abweichend von Satz 1 Nummer 1 ist dieses Gesetz auch anzuwenden auf Unternehmen ungeachtet ihrer Rechtsform, die 1. eine Zweigniederlassung gemäß § 13d des Handelsgesetzbuchs im Inland haben und 2. in der Regel mindestens 3 000 Arbeitnehmer im Inland beschäftigen. Ab dem 1. Januar 2024 betragen die in Satz 1 Nummer 2 und Satz 2 Nummer 2 vorgesehenen Schwellenwerte jeweils 1 000 Arbeitnehmer. (2) Leiharbeitnehmer sind bei der Berechnung der Arbeitnehmerzahl (Absatz 1 Satz 1 Nummer 2 und Satz 2 Nummer 2) des Unternehmens zu berücksichtigen, wenn die Einsatzdauer sechs Monate übersteigt. (3) Innerhalb von verbündeten Unternehmen (§ 15 des Aktiengesetzes) sind die im Inland beschäftigten Arbeitnehmer sämtlicher konzernangehöriger Gesellschaften bei der Berechnung der Arbeitnehmerzahl (Absatz 1 Satz 1 Nummer 2) der Obergesellschaft zu berücksichtigen; ins Ausland entsandte Arbeitnehmer sind erfasst.	Nationales Gesetz	In Kraft	Link
8	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Befreiung von chemischen Stoffen (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikaliendatenbank, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 91/155/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2002/21/EG der Kommission	REACH			EU Verordnung	In Kraft	Link
9	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern -	GGVSEB			Deutschland	In Kraft	Link
10	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Richtlinie 2008/68/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 24. September 2008 über die Beförderung gefährlicher Güter im Binnenland	-					Link
11	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße	ADR	EU	Gefährliche Güter, deren internationale Beförderung ausgeschlossen ist EU-Verordnung sowie Güter, deren internationale Beförderung zulässig ist	in Kraft		Link

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.2 Analyse der Akteure der Batteriewertschöpfungskette aus rechtlicher Sicht

Tabelle 3: Identifizierte Regulierungen, die den Rechtsrahmen einer Batteriekreislaufwirtschaft bilden (Betrachtungsebene EU und Deutschland) (II)

Nr. Nummer	Kategorie	Regulierungsbezeichnung (lang)	Kurzname	Geographischer Anwendungsbereich	(Relevanten) Sachlicher Anwendungsbereich	Regulierungs- typ	Status	Referenz / Link
12	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße	ADR	EU	Gefährliche Güter, deren internationale Beförderung ausgeschlossen ist EU-Verordnung sowie Güter, deren internationale Beförderung zulässig ist	EU-Verordnung	In Kraft	Link
13	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf Binnenwasserstraßen	ADR	EU	Gefährliche Güter, deren internationale Beförderung mit Schiffen auf Binnenwasserstraßen erfolgt	EU-Verordnung	In Kraft	Link
14	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter	RID		Gefährliche Güter	-	-	Link
15	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Dangerous Goods Regulations	ICAO/IATA-DGR		Gefährliche Güter	-	-	Link
16	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien	Abfallrahmenrichtlinie	EU	Festlegung von Maßnahmen, die dem Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit dienen, indem die Erzeugung von Abfällen und die schädlichen Auswirkungen der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen vermieden oder verringert, die Gesamtauswirkungen der Ressournenutzung reduziert und die Effizienz der Ressournenutzung verbessert werden, und welche für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft und für die Sicherstellung der langfristigen Wettbewerbsfähigkeit der Union entscheidend sind.	EU Richtlinie	In Kraft	Link
17	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz)	KriWG	Deutschland	Vorschriften dieses Gesetzes gelten für 1. die Vermeidung von Abfällen sowie 2. die Verwertung von Abfällen, 3. die Beseitigung von Abfällen und 4. die sonstigen Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung.	Nationales Gesetz	In Kraft	Link
18	Horizontal (unmittelbarer Bezug)	Verordnung EU 2019/1021 des europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe	POP-Verordnung	EU	Ziel dieser Verordnung ist es, die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor persistenten organischen Schadstoffen (POP) zu schützen, und zwar durch das Verbot oder die möglichst bezügliche Einstellung oder Begrenzung des Herstellens, des Importes, des Exportes und der Verwendung von Stoffen, die dem Übereinkommen von Stockholm über persistente organische Schadstoffe oder dem Protokoll zum Übereinkommen von 1979 über weitläufige grenzüberschreitende Luftverunreinigung betreffend persistente organische Schadstoffe unterliegen + Bestimmungen über Abfälle, die aus solchen Stoffen bestehen, sie enthalten oder durch sie verunreinigt sind.	EU Verordnung	In Kraft	Link
19	Horizontal (mittelbarer Bezug)	Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten	LkSG	Deutschland	Unternehmen	Nationales Gesetz	In Kraft	Link
20	Horizontal (mittelbarer Bezug)	Verordnung (EU) 2024/1252 des europäischen Parlaments und des Rates vom 11. April 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020	Critical Raw Materials	EU	Ziel dieser Verordnung besteht darin, das Funktionieren des Binnenmarkts zu verbessern, indem ein Rahmen geschaffen wird, mit dem der Zugang der Union zu einer sicheren, krisenfesten und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen sichergestellt wird, unter anderem durch die Förderung von Effizienz und Kreislauffähigkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette.	EU Verordnung	In Kraft	Link
21	Horizontal (mittelbarer Bezug)	Richtlinie (EU) 2022/2464 des europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 537/2014 und der Richtlinie 2004/109/EG, 2006/43/EG und 2013/34/EU hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen	CSRD	EU	Ziel ist die Einführung europäischer Standards für die Nachhaltigkeitsberichte von Unternehmen.	EU Richtlinie	In Kraft	Link
22	Horizontal (mittelbarer Bezug)	Verordnung (EU) 2024/1781 des europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2020/1828 und der Verordnung (EU) 2023/1542 und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG	ESPR	EU	Verordnung ersetzt bisherige Ökodesign-Richtlinie und erweitert den Anwendungsbereich von bislang energieverbrauchenden bzw. energieverbrauchsrelevanten Produkten (z.B. Leuchtmittel, Kühlgeräte, Waschmaschinen, Wäschetrockner) auf nahezu alle Arten von Produkten, die in der EU in Verkehr gebracht werden.	EU Verordnung	In Kraft	Link

3.2 Analyse der Akteure der Batteriewertschöpfungskette aus rechtlicher Sicht

3.2.1 Vorgehensweise

Als Grundlage für die weitere Analyse diente die zuvor erstellte Liste „Identifizierter Regulierungen, die den Rechtsrahmen einer Batteriekreislaufwirtschaft bilden“.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.2 Analyse der Akteure der Batteriewertschöpfungskette aus rechtlicher Sicht

Um die Akteurslandschaft aus rechtlicher Sicht zu analysieren, wurde jede einzelne dieser 22 Regulierungen herangezogen und auf den personellen Geltungsbereich hin untersucht.

Als „Akteur“ wurden dabei alle juristischen (und natürlichen) Personen betrachtet, die im Rahmen der jeweiligen Regelungen relevante Tätigkeiten (mit Batterien) durchführen und denen entsprechende Rechte und Pflichten zugeordnet sind.

Zunächst wurden in den Regulierungen alle Akteure identifiziert, denen entsprechende Legaldefinitionen der Regulierungstexte zugewiesen sind. Daneben wurden aber auch Akteure herausgearbeitet, die in den Rechtstexten erwähnt wurden, für die aber keine Legaldefinition oder entsprechende Querverweise gegeben wurden.

Pro Regulierung wurden so zunächst die einzelnen Rollen / Akteure benannt und gelistet.

Parallel dazu wurden pro Regulierung diejenigen Tätigkeiten gelistet (und beschrieben), die eine entsprechende Rolle begründen können (charakterisierende Handlungen) und an deren Durchführung Folgerechte und Pflichten geknüpft werden können. Dabei wurden jedoch nur jene Einzeltätigkeiten beschreibend vertieft, die einen Bezug zum Fokusprodukt (Elektrofahrzeugbatterien, nicht aber beispielsweise Tätigkeiten in Bezug zu Gerätebatterien) und die Phasen der „Umnutzung“ und „Wiederaufbereitung“ adressierten (bspw. wurde der „Aussteller“ bzw. das „Aufstellen“ im Produktsicherheitsgesetz nicht vertieft).

Die Rollen / Akteure und Tätigkeiten wurden schließlich tabellarisch verknüpft.

3.2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Benennung der einzelnen Akteure / Rolle pro Regulierung wurde in Microsoft Excel© in einer „Übersicht Regulierung-Akteur“ dokumentiert. Nachfolgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt dieser ersten Übersicht.

Tabelle 4: Auswertung relevanter Rollen pro identifizierte Regelung (Ausschnitt)

Regulierung	Benennung relevanter Akteure / Rollen - 1	Benennung relevanter Akteure / Rollen - 2	Benennung relevanter Akteure / Rollen - 3	Benennung relevanter Akteure / Rollen - 4	Benennung relevanter Akteure / Rollen - 5	Benennung relevanter Akteure / Rollen - 6	Benennung relevanter Akteure / Rollen - 7
Batterieverordnung	Abfallbewirtschafter	Abfallbewirtschaftungsbehörden	Bevollmächtigte	Bevollmächtigter des Erzeugers	Bevollmächtigter für die erweiterte Herstellerverantwortung	Einführer	Erzeuger
ELV-Richtlinie	Hersteller (Fahrzeughersteller)	Vertreiber	Rücknahmestelle	Annahmestelle	Kfz-Versicherungsgesellschaften	Demontagebetriebe	Schredderanlagenbetreiber
ProdSG	Aussteller	Bevollmächtigter	Einführer	Fullfilment-Dienstleister	GS-Stelle	Händler	Hersteller

Für jeden Akteur wurden schließlich die konstituierenden Tätigkeiten für jede Rolle aus den Regulierungstexten extrahiert und den jeweiligen Rollen zugeordnet. Nachfolgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt dieser erweiterten Übersicht. Diese Übersicht wurde als „Tätigkeitenliste“ ebenfalls in Microsoft Excel© dokumentiert.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.2 Analyse der Akteure der Batteriewertschöpfungskette aus rechtlicher Sicht

Tabelle 5: Auswertung der relevanten Tätigkeiten, die eine Rolle pro identifizierte Regelung konstituieren (Ausschnitt)

Herkunft - Benennung Regulierung (aus der die Tätigkeit zugeordnet wird / für den die Tätigkeit relevant ist - laut Regulierung)		Akteurzuordnung (Bezeichnung des Akteurs, dem diese Tätigkeit zugeordnet wird)	Benennung der Tätigkeit	Beschreibung der Tätigkeit
ProdSG	Aussteller		Ausstellen	Aussteller ist jede natürliche oder juristische Person, die ein Produkt zu Zwecken der Werbung aufstellt oder vorführt
ProdSG	Bevollmächtigter		-	Bevollmächtigter jede in der Europäischen Union ansässige natürliche oder juristische Person, die vom Hersteller schriftlich beauftragt wurde, in seinem Namen bestimmte Aufgaben in Erfüllung der einschlägigen Harmonisierungsrechtsvorschriften der Europäischen Union oder der Anforderungen dieses Gesetzes wahrzunehmen
ProdSG	Einführer		Einführen	Einführer ist jede in der Europäischen Union ansässige natürliche oder juristische Person, die ein Produkt erstmals aus einem Drittstaat auf dem Unionsmarkt bereitstellt (jede entgeltliche oder unentgeltliche Abgabe eines Produkts zum Vertrieb, zum Verbrauch oder zur Verwendung auf dem Unionsmarkt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit); dabei werden gebrauchte Produkte wie neue Produkte behandelt
ProdSG	Fulfilment-Dienstleister		Anbieten mindestens von zwei der folgenden Dienstleistungen: Lagerhaltung, Verpackung, Adressierung und Versand von Produkten, an denen sie kein Eigentumsrecht hat	Fulfilment-Dienstleister jede natürliche oder juristische Person, die im Rahmen einer Geschäftstätigkeit mindestens zwei der folgenden Dienstleistungen anbietet: Lagerhaltung, Verpackung, Adressierung und Versand von Produkten, an denen sie kein Eigentumsrecht hat, ausgenommen Postdienste, Paketzustelldienste, und alle sonstigen Postdienste oder Frachtverkehrsdienstleistungen
ProdSG	GS-Stelle		GS-Zeichen zuerkennen	GS-Stelle eine Konformitätsbewertungsstelle, der von der Befugnis erteilenden Behörde die Befugnis erteilt wurde, das GS-Zeichen zuzuerkennen
ProdSG	Händler		auf dem Markt bereitstellen	Händler jede natürliche oder juristische Person in der Lieferkette, die ein Produkt auf dem Markt bereitstellt, mit Ausnahme des Herstellers und des Einführers
ProdSG	Hersteller		Herstellen von Produkten und unter eigenem Namen die Produkte vermarkten	Hersteller jede natürliche oder juristische Person, die ein Produkt herstellt oder entwickeln oder herstellen lässt und dieses Produkt in ihrem eigenen Namen oder unter ihrer eigenen Handelsmarke vermarktet; als Hersteller gilt auch jeder, der <ul style="list-style-type: none"> a) geschäftsmäßig seinen Namen, seine Handelsmarke oder ein anderes unterscheidungskraftiges Kennzeichen an einem Produkt anbringt und sich dadurch als Hersteller ausgibt oder b) ein Produkt wiederaufarbeitet oder die Sicherheitseigenschaften eines Verbraucherprodukts beeinflusst und dieses anschließend auf dem Markt bereitstellt
ProdSG	Hersteller		Produkte entwickeln oder herstellen lassen und unter eigenem Namen die Produkte vermarkten	Hersteller jede natürliche oder juristische Person, die ein Produkt herstellt oder entwickeln oder herstellen lässt und dieses Produkt in ihrem eigenen Namen oder unter ihrer eigenen Handelsmarke vermarktet; als Hersteller gilt auch jeder, der <ul style="list-style-type: none"> a) geschäftsmäßig seinen Namen, seine Handelsmarke oder ein anderes unterscheidungskraftiges Kennzeichen an einem Produkt anbringt und sich dadurch als Hersteller ausgibt oder b) ein Produkt wiederaufarbeitet oder die Sicherheitseigenschaften eines Verbraucherprodukts beeinflusst und dieses anschließend auf dem Markt bereitstellt

Die Übersicht zeigte zunächst, dass im Kontext des Rechtsrahmens sehr viele unterschiedliche Akteure / Rollen definiert werden – sowohl innerhalb einzelner Regulierungen als auch entsprechend in Summe über alle Regulierungen hinweg.

Allein in der Batterieverordnung wird von etwa 20 unterschiedlichen Rollen / Akteuren gesprochen, die in (wirtschaftlichen) Beziehungen zueinanderstehen.

Ohne (staatliche / behördliche) Rollen / Akteure ergibt sich etwa folgendes Übersichtsbild nur für die begrifflich erfassten Rollen / Akteure in der Batterieverordnung.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.2 Analyse der Akteure der Batteriewertschöpfungskette aus rechtlicher Sicht

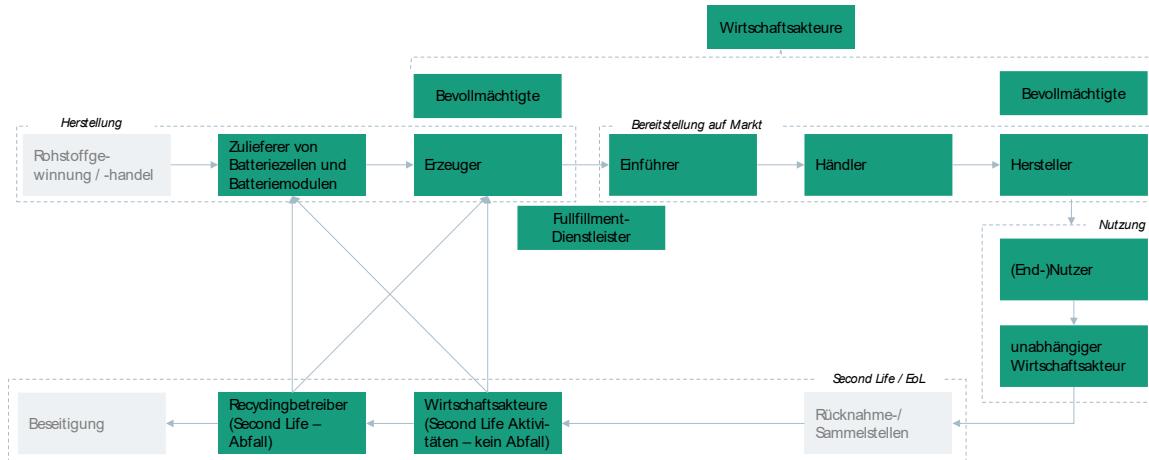


Abbildung 4: Wichtige Akteure aus Sicht der Batterieverordnung

Im Hinblick auf die Zielsetzung (siehe oben) ließen sich somit zunächst folgende Punkte festhalten:

- Bezuglich des rechtlichen Rahmens einer Batteriekreislaufwirtschaft wurde deutlich, dass die Batterieverordnung zwar als Kernstück berücksichtigt werden muss, gleichzeitig muss die Batterieverordnung jedoch im Kontext und im Zusammenspiel mit anderen Regulierungen betrachtet werden (idealerweise abhängig vom Batterietyp – hier: Elektrofahrzeugbatterie)
- Unter Berücksichtigung des Fokus auf Elektrofahrzeugbatterien und die Phasen „Umnutzung“ und „Wiederaufbereitung“ konnten drei Sphären von Regulierungen identifiziert werden, die mit unterschiedlichem Schwerpunkt beachtet werden müssen. Unmittelbar produktbezogen sind in der ersten Sphäre die Altfahrzeugrichtlinie (sie enthält etwa Anforderungen an die Entnehm- und Austauschbarkeit der Batterie an Fahrzeuge) und die Batterieverordnung (sie enthält Anforderungen über den ganzen Lebenszyklus einer Batterie) zu berücksichtigen sind. In der nächsten Sphäre sind vor allem horizontale Regulierungen zu betrachten, die eine Batterie abstrahierend etwa als Erzeugnis oder als physisches Produkt auffassen und weitere Regelungen bereithalten (etwa zur stofflichen Zusammensetzung, zu weiteren Sicherheits- und Haftungsaspekten, zur Kreislaufführung etc.). Letztlich sind Regulierungen relevant, die einen mittelbaren Einfluss auf Batterien besitzen können, da sie Regelungsbereiche betreffen, die auch Teil der Batterieverordnung sind (bspw. Demontagefähigkeit -> Ökodesign, Sorgfaltspflichten -> CSRD).
- In Bezug auf die Regulierungen insbesondere auch in der Batterieverordnung ist jedem Akteur im Hinblick auf den daraus möglicherweise resultierenden Pflichtenkreis eine genaue Rollenabgrenzung nahezulegen (etwa in der Batterieverordnung „Erzeuger“ vs. „Hersteller“).
- In der Gesamtschau sind so im Zusammenhang mit dem rechtlichen Rahmen einer Batteriekreislaufwirtschaft eine Vielzahl unterschiedlicher Rollen / Akteure zu berücksichtigen. Die Batterieverordnung etwa hat die Rollen deutlich ausgeweitet und stärker differenziert (bspw. Erzeuger, Hersteller, Händler), zudem wurden neue Rollen eingeführt (bspw. Einführer, Online-Plattformen und Fulfillment-Dienstleister).

3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)

Im Vergleich zu jenen in AP1 (aus wirtschaftlicher Sicht) festgelegten Rollen / Akteuren hätte sich daher zunächst ein Ergänzungsbedarf ergeben. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in der oben beschriebenen Analyse zunächst alle Rollen / Akteure aus den Regulierungen extrahiert wurden. Daher waren auch Regelungsbereiche und entsprechende Rollen / Akteure enthalten, die nicht den Betrachtungsschwerpunkten entsprachen.

Unter dem Blickwinkel von Elektrofahrzeughärtierien, „Umnutzung“ und „Wiederaufbereitung“ wurden daher die Rollen / Akteure nochmals daraufhin untersucht, ob die rechtlichen Rollen / Akteure von den in AP1 festgelegten Rollen / Akteure repräsentiert werden. Dies konnte bejaht werden, da die möglichen rechtlichen Wirkungen über die benannten Rollen / Akteure abbildung sein sollten. Daher wurden keine wesentlichen, weiteren Ergänzungsvorschläge für die in AP1 benannten Rollen / Akteure unterbreitet.

3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)

3.3.1 Vorgehensweise

Auf Basis der zuvor als relevant identifizierten Regulierungen sowie der Akteure wurden zuletzt für jeden Akteur die Pflichten analysiert.

Hierzu wurde die jeweilige Regulierung und der jeweilige Akteur benannt und dann aus dem Regulierungstext die jeweiligen Pflichten extrahiert.

Dabei wurden nur jene Pflichten mitaufgenommen, die einen Bezug zum Fokus auf Elektrofahrzeughärtierien und die Phasen der „Umnutzung“ und „Wiederaufbereitung“ aufzeigten. Die Einzelpflichten wurden jeweils zusammenfassend bezeichnet und nochmals ausführlich mit Herkunft in eine Microsoft Excel© Tabelle aufgenommen.

Auf Basis dieser Übersicht zu den Rollen / Akteuren und den jeweiligen Pflichten wurden anschließend Thesen zu möglichen Auswirkungen des Rechtsrahmens auf die Akteure formuliert.

Um diese abzusichern und ggf. zu ergänzen, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, mit dem Ziel weitere Untersuchungen und Beiträge zu identifizieren, die den Rechtsrahmen einer Batteriekreislaufwirtschaft (kritisch) betrachten. Schwerpunkt der Recherche bildeten hier auch Stellungnahmen und Aussagen von Organisationen (etwa Verbände), die sich im Themengebiet „Batterien“ verstärkt engagieren.

Die (kritischen) Aussagen zu möglichen Auswirkungen des Rechtsrahmens wurden zusammengetragen, verdichtet und dokumentiert.

Die zusammengefassten Aussagen wurden in einem Workshop Teilnehmern aus der Batteriekreislaufwirtschaft vorgestellt. Anschließend wurde Feedback erbeten, ob noch weitere Aussagen berücksichtigt werden müssen. Die Teilnehmer hatten keine weiteren Ergänzungen.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)

3.3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Dokumentation der Pflichten pro Akteur (abhängig von der jeweiligen Regelung) wurde in Microsoft Excel© in einer Übersicht „Pflichtenliste“ dokumentiert. Nachfolgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt dieser Übersicht.

Tabelle 6: Auswertung der Pflichten pro Rolle / Akteur bezogen auf die einzelnen Regulierungen (Ausschnitt)

Regelung	Akteur / Rolle	Pflicht 1	Beschreibung der Pflicht	Herkunft	Pflicht 2	Beschreibung der Pflicht
BattVO	Zulieferer - Batterie VO	Bereitstellung von Informationen und Unterlagen für die Einhaltung der Vorschriften	Wenn Zulieferer von Batteriezellen und Batteriemodulen dem Erzeuger Batteriezellen und Batteriemodule liefern, stellen sie einem Hersteller die zur Einhaltung der Anforderungen dieser Verordnung erforderlichen Informationen und Unterlagen zur Verfügung. Diese Informationen und Unterlagen werden kostenfrei bereitgestellt.	Artikel 39		
BattVO	Bevollmächtigte - Batterie VO	Pflicht zur Kennzeichnung mit der Kennnummer der notifizierten Stelle nach CE-Kennzeichnung	Auf die CE-Kennzeichnung folgt, sofern das nach Anhang VIII vorgeschrieben ist, die Kennnummer der notifizierten Stelle. Diese Kennnummer ist entweder von der Stelle selbst oder nach ihren Anweisungen durch den Erzeuger oder dessen Bevollmächtigten anzubringen.	Artikel 20 (3)	Eineintragung durch schriftliches Mandat	Hersteller können einen Bevollmächtigten ernennen, jedoch nur durch schriftliche Vereinbarung. Die Eintragung ist nur gültig, wenn der Bevollmächtigte sie ebenfalls schriftlich annimmt.
BattVO	Einführer - Batterie VO	Pflicht zur Gewährleistung der Konformität vor dem Inverkehrbringen	Einführer dürfen Batterien nur verkaufen, wenn sie den festgelegten Anforderungen entsprechen.	Kapitel VI, Artikel 41 (1)	Pflicht zur Überprüfung der Konformität vor dem Inverkehrbringen	Vor dem Verkauf müssen Einführer sicherstellen, dass: a) Der Hersteller die erforderlichen Dokumente vorlegt und das Konformitätsbewertungsverfahren durchgeführt hat. b) Die Batterie die CE-Kennzeichnung und allen vorgeschriebenen Markierungen verschen ist. c) Die Batterie mit allen erforderlichen Dokumenten und Anleitungen in verständlichen Sprachen ausgestattet ist. d) Der Hersteller seine Verpflichtungen nachgekommen ist.
BattVO	Wirtschaftsakteur - Batterie VO	Pflicht zum Ergreifen von Sicherheitsmaßnahmen während der Ausstellung von nicht konformen Batterien auf Veranstaltungen	Die Mitgliedstaaten lassen es zu, dass bei Messen, Ausstellungen, Vorführungen und ähnlichen Veranstaltungen Batterien ausgestellt werden, die dieser Verordnung nicht entsprechen. Dies ist auf dem Markt nicht erlaubt, was darauf hinweist, dass diese Batterien der Verordnung nicht entsprechen und erst auf dem Markt bereitgestellt oder in Betrieb genommen werden dürfen, wenn ihre Konformität mit dieser Verordnung hergestellt wurde. Während einer Vorführung dieser Batterien hat der betreffende Wirtschaftsakteur geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um die Sicherheit von Personen sicherzustellen.	Artikel 4 (2)	Pflicht zur Einhaltung von Qualitätskontroll- und Sicherheitsmaßnahmen bei der Verarbeitung, Prüfung, Verpackung und Versendung von Batterien	Wirtschaftsakteure, die zur Wiederverwendung oder zur Umnutzung vorbereitet oder umgenutzt oder hergestellt oder hergestellt und vertrieben werden, stellen sicher, dass bei der Untersuchung, Leistungsprüfung, Verpackung und Verbringung der Batterien und Bauteile solcher Batterien, die einen dieser Vorgänge durchlaufen haben, angemessene Qualitätskontroll- und Sicherheitsanweisungen befolgt werden.
BattVO	Organisation für Herstellerverantwortung - Batterie VO	Verantwortung der benannten Organisation gemäß Artikel 57 Absatz 1	Hat ein Hersteller gemäß Artikel 57 Absatz 1 eine Organisation für Herstellerverantwortung benannt, so muss diese Organisation die Anforderungen dieses Artikels entsprechend erfüllen, sofern der Mitgliedstaat nichts anderes bestimmt.	Artikel 55 (6)	Meldungspflichten der benannten Organisation im Herstellerregister	Der Hersteller oder gegebenenfalls der Bevollmächtigte für die erweiterte Herstellerverantwortung oder die Organisation für Herstellerverantwortung, die der Hersteller benannt wurde, müssen sicherstellen, dass der Hersteller oder gegebenenfalls der zuständigen Behörde unverzüglich alle Änderungen der in der Registrierung enthaltenen Angaben und die dauerhafte Beendigung der Bereitschaft von in der Registrierung in Bezug genommenen Batterien auf dem Markt im Hoheitsgebiet des Mitgliedstaats.
BattVO	Händler - Batterie VO	Sorgfaltspflicht bei Bereitstellung von Batterien	Die Händler berücksichtigen die Anforderungen dieser Verordnung mit der gebührenden Sorgfalt, wenn sie eine Batterie auf dem Markt bereitstellen.	Artikel 42 (1)	Pflicht zur Überprüfung vor Markteinführung von Batterien	Bevor Händler eine Batterie auf den Markt bringen, müssen sie sicherstellen, dass: a) der Hersteller im Register gemäß Artikel 55 eingetragen ist, b) die Batterie die CE-Kennzeichnung gemäß Artikel 19 und die Kennzeichnung gemäß Artikel 13 trägt, c) die Batterie mit den erforderlichen Unterlagen, Betriebsanleitung und Sicherheitsinformationen in verständlicher Sprache versehen ist, d) der Erzeuger und Einführer die Anforderungen gemäß Artikel 38 Absätze 6 und 7 sowie Artikel 41 Absatz 3 erfüllen.
BattVO	Bevollmächtigter für die erweiterte Herstellerverantwortung - Batterie VO	Pflicht zur Bestätigung der wahrheitsgemäßen Informationen	(D) Der Registrierungsauftrag umfasst die folgenden Informationen: a) eine Erklärung des Herstellers oder gegebenenfalls des Bevollmächtigten für die erweiterte Herstellerverantwortung oder der Organisation für Herstellerverantwortung, die gemäß Artikel 57 Absatz 1 benannt wurde, in der bestätigt wird, dass die übermittelten Angaben wahrheitsgemäß sind.	Artikel 55 (Herstellerregister) (3)	Pflicht zur Vertragung von Hersteller und Angabe von Kontaktdaten	Die nach dem vorliegenden Artikel geltenden Pflichten können im Namen des Herstellers durch einen Bevollmächtigten für die erweiterte Herstellerverantwortung erfüllt werden. Wenn die in diesem Artikel genannten Pflichten im Namen des Herstellers von einer Bevollmächtigten für die erweiterte Herstellerverantwortung erfüllt werden, der mehrere Hersteller vertritt, muss der Bevollmächtigte absehen von den nach Absatz 3 erforderlichen Informationen auch für jeden der von ihm vertretenen Hersteller gesondert Name und Kontaktdaten angeben.
BattVO	Bevollmächtigter des Erzeugers - Batterie VO	Kennzeichnungspflicht mit Kennnummer der notifizierten Stelle durch den Bevollmächtigten	Auf die CE-Kennzeichnung folgt, sofern das nach Anhang VIII vorgeschrieben ist, die Kennnummer der notifizierten Stelle. Diese Kennnummer ist entweder von der Stelle selbst oder nach ihren Anweisungen durch den Erzeuger oder dessen Bevollmächtigten anzubringen.	Artikel 20 (3)	Benennung und Annahme des Bevollmächtigten durch schriftliches Mandat	Ein Erzeuger kann durch schriftliches Mandat einen Bevollmächtigten benennen. Das Mandat des Bevollmächtigten ist nur gültig, wenn es von diesem schriftlich angenommen wird.
BattVO	Inverkehrbringer - Batterie VO	Pflicht zur Anbringung der CE-Kennzeichnung	Die CE-Kennzeichnung wird vor dem Inverkehrbringen oder der Inbetriebnahme der Batterien aufgebracht.	Artikel 20 (2)		
BattVO	Afballbewirtschafter - Batterie VO	Pflicht zur Übermittlung von Informationen zur Sammlung und Behandlung von größeren Altbatterien	Wer als Afballbewirtschafter Altbatterien von Händlern oder anderen Sammelstellen für Starterbatterien, Industriebatterien und Elektrofahrzeughaltbatterien oder von Endnutzern abholen, übermitteln sie der zuständigen Behörde für jedes Kalenderjahr die folgenden Informationen, aufgeschlüsselt nach chemischer Zusammensetzung und Kategorie der Altbatterien: a) Menge der gesammelten Starteraltbatterien, Industriebatterien und Elektrofahrzeughaltbatterien; b) Menge der gesammelten und zwecks Vorbereitung zur Wiederverwendung oder Vorbereitung zur Umnutzung an geeignete Anlagen gelieferten Starteraltbatterien und Elektrofahrzeughaltbatterien; c) Menge der gesammelten und zwecks Behandlung an geeignete Anlagen gelieferten Starteraltbatterien, Industriebatterien oder Elektrofahrzeughaltbatterien; d) Menge der gesammelten Starteraltbatterien, Industriebatterien und Elektrofahrzeughaltbatterien, die zwecks Vorbereitung zur Wiederverwendung, Vorbereitung zur Umnutzung oder zwecks Behandlung in ein Drittland ausgeführt wurden.	Artikel 75 (3)	Pflicht zur Übermittlung von Daten zur Behandlung und Recycling von Altbatterien	Afballbewirtschafter, die Altbatterien behandelt, und Recyclingbetreiber müssen jährlich Informationen an die zuständigen Behörden des Mitgliedstaats übermitteln, in dem die Behandlung stattfindet. Diese Informationen umfassen die Menge der erhaltenen Altbatterien, die Menge der zur Wiederverwendung, Umnutzung oder dem Recycling zugeführten Altbatterien sowie Daten zur Recyclingeffizienz und stofflichen Verwertung. Der erste Recyclingbetreiber ist verantwortlich für die Erhebung und Meldung dieser Daten, auch wenn das Recycling in einem anderen Mitgliedstaat stattgefunden hat, sind diese Daten zu berücksichtigen und werden auf die Ziehvorgaben des Mitgliedstaats angerechnet, in dem die Batterien gesammelt wurden.

Zunächst muss festgehalten werden, dass sich die möglichen Auswirkungen des Rechtsrahmens auf „Umnutzung“ und „Wiederaufbereitung“ von Elektrofahrzeugbatterien nur in Teilen zum gegenwärtigen Zeitpunkt beurteilen lassen.

3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)

Mit der Batterieverordnung wurde in Europa eine umfassende Regulierung für Batterien geschaffen, die nicht nur Altbatterien, sondern den gesamten Lebenszyklus von Batterien adressiert. Insbesondere nimmt sich die Batterieverordnung den zunehmenden ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Herausforderungen im Zusammenhang mit Batterien an.

Die Verordnung trat zwar bereits zum 17. August 2023 in Kraft, einige Verpflichtungen werden jedoch erst in den nächsten Jahren mit spezifischen Fristen für die unterschiedlichen Batterietypen wirksam. Verschiedene Verpflichtungen entfalten ihre Auswirkungen zeitlich gestaffelt bis in das Jahr 2036. Die Regelungen der Batterieverordnung werden daher die Akteure über einen längeren Zeitraum – abhängig von den Rollen – kontinuierlich fordern.

Mit dem Fokus auf Elektrofahrzeugbatterien, die Umnutzung und Wiederaufbereitung lassen sich daher bisher keine wesentlichen Erfahrungswerte verbinden, da die Wirkungen bisher nur antizipiert werden können.

Hinzu kommt, dass auch aus Marktperspektive im Hinblick auf die Umnutzung und Wiederaufbereitung nur geringe gefestigte Erfahrungswerte vorliegen. Der Markt für Elektrofahrzeuge entwickelt sich derzeit noch und beginnt erst zu wachsen, derzeit ist die Anzahl und der Anteil von Elektrofahrzeugen noch gering. Nennenswerte Rückläufe von Elektrofahrzeugbatterien werden erst 2030 bzw. 2035 erwartet (Fraunhofer ISI, 2021). Auch etwa die Batterie-Technologien befinden sich im Wandel und konkurrieren nicht zuletzt um wirtschaftliche Geschäftsmodelle. Kurzum: Das letztliche Zusammenspiel zwischen den rechtlichen Rahmenbedingungen und dem sich entwickelten Markt lassen sich gegenwärtig gerade für die Phasen am (ersten) Ende des Lebenszyklus einer Elektrofahrzeugbatterie nur mit Einschränkungen beurteilen.

Vor diesem Hintergrund wurden jedoch folgende Punkte (zusammenfassend) herausgearbeitet, die sich unterschiedlich auf die Bereitschaft und die Mengen für die Umnutzung und Wiederaufbereitung von Elektrofahrzeugbatterien auswirken können:

- „Sammlung“: Um Batterien umzunutzen oder wiederaufzubereiten, müssen die „Altbatterien“ zunächst gesammelt werden. Der Batterieverordnung liegt grundsätzlich eine „No-Loss Policy“ (Europäische Kommission, 2020) zugrunde. Grundlegend soll daher das Ziel verfolgt werden, dass alle „Altbatterien“ in der EU gesammelt werden. Sowohl die Batterieverordnung als auch die (geplante) Altfahrzeugverordnung regeln die Verantwortung der Sammlung von Altfahrzeugen und Altbatterien umfangreich. So weitet etwa die Batterieverordnung das bisher nur unter dem Batterigesetz für Gerätebatterien zwingende, zugelassene und flächendeckend operierende Rücknahmesystem auch auf Elektrofahrzeugbatterien aus.

Auch die Regelungen zum Batteriepass in der Batterieverordnung und die Einführung eines digitalen Verwertungsnachweises (dieser soll bei Abmeldung eines Altfahrzeugs der Zulassungsbehörde übermittelt werden), die Festlegung klarer Kriterien zur Unterscheidung von Gebraucht- und Altfahrzeugen sowie Anforderungen an den Export von Gebrauchtfahrzeugen in der (vorgeschlagenen) Altfahrzeugverordnung sollen etwa zu einer verbesserten Sammlung von Altbatterien und Altfahrzeugen sowie zu einer besse-

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)

ren Transparenz über Marktbestände und illegale Verbringungen beitragen. Idealerweise können Folgemaßnahmen auch entsprechenden „Schwund“ reduzieren. (siehe hierzu (Battery Pass EU, 2024), (BMUV, 2024))

Diese Regelungen könnten insgesamt positive Auswirkungen auf die Mengenströme im Sinne der Nachvollziehbarkeit und der Reduktion von Störgrößen bei den Mengenströmen haben.

Neben den Regelungen wird auch entscheidend sein, wie die Industrie die Sammlung und Bündelung der Mengenströme realisiert. Derzeit ist noch kein konkretes Konzept zur systematischen Sammlung (Sammelinfrastruktur) von Elektrofahrzeugbatterien bekannt. Teilweise bleiben die Batterien etwa im Eigentum des Autobauers (bei Leasing Modellen), was die Rückverfolgung vereinfacht. Üblicherweise werden Elektrofahrzeuge jedoch mit Batterie verkauft werden. Hier ist überwiegend unbekannt, wo genau die Batterien verbleiben (etwa in unabhängigen Werkstätten, auf Schrottplätzen).

Die Rücknahmemaßnahmen müssen sich zumindest nach dem Willen der Batterieverordnung auf das gesamte Hoheitsgebiet eines Mitgliedstaates erstrecken. Hierbei sind Bevölkerungszahl und -dichte und die voraussichtlichen Mengen an Elektrofahrzeugaltbatterien zu berücksichtigen. Für die Endnutzer müssen die Sammelstrukturen zugänglich und in geografischer Nähe sein. Zudem besteht die Rücknahmepflicht nicht nur für selbst auf dem Markt bereitgestellte Batterien. Sie gilt auch pro Batteriekategorie, die Hersteller erstmals auf dem Markt bereitstellen, unabhängig von Art, chemischer Zusammensetzung, Zustand, Marke oder Herkunft der Altbatterie. Insbesondere müssen die Hersteller die Batterien nun auch direkt von Endnutzern zurücknehmen (nicht nur von etwa Händlern). Dies sollte sich ebenfalls positiv auf die Rücklaufmengen auswirken.

Abschließend ist jedoch noch darauf hinzuweisen, dass die Batterieverordnung den Mitgliedstaaten an vielen Stellen die Möglichkeit oder auch den Auftrag gibt, die erweiterte Herstellerverantwortung (zu der auch die Sammlung gehört) konkreter zu gestalten (bspw. nur Kollektivsysteme). Entgegen der grundlegenden Harmonisierung durch den Verordnungscharakter der Batterieverordnung, könnte es daher zu gesonderten Umsetzungen in den Mitgliedsstaaten kommen, was ein effizientes und standardisiertes Vorgehen erschweren könnte.

- „Recycling“: Nach der Sammlung sollen die Batterien nach dem Willen des EU-Gesetzgebers der entsprechenden Behandlung (also auch der Umnutzung und Wiederaufbereitung) zugeführt werden.

Derzeit ist davon auszugehen, dass die gegenwärtigen Regelungen zur grenzüberschreitenden Verbringung von Altbatterien in der EU die Mengenströme / gebündelte Zuführung der Batterien zur Behandlung zumindest behindern könnten.

Es bestehen komplexe rechtliche Vorschriften (unterschiedliche Anforderungen und Abfallklassifizierungssysteme, Sicherheitsvorschriften) für die grenzüberschreitende Verbringung von Altbatterien, die mutmaßlich einen hohen Aufwand (Erstellung der erforderlichen Unterlagen und Einholung der behördlichen Genehmigung für Verbringung von Altbatterien zum Recycling oder zur Wiederverwendung) bedingen. (siehe hierzu (Europäisches Parlament und Rat, 2006), (Europäische Kommission, 2007), (Europäisches Parlament und Rat, 2024))

3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)

Gegenwärtig verlaufen Abfallpläne noch entlang von Ländergrenzen und sind heterogen. Auch die Nachvollziehbarkeit von Altbatterieströmen ist über die gegebenen Klassifikationssysteme nur bedingt gegeben.

Zudem hat der Gesetzgeber in der Batterieverordnung lediglich Ziele für die Recycling-Effizienz, metallspezifische Rückgewinnungsquoten sowie Ziele für die Verwendung von Rezyklaten festgelegt. Für die Umnutzung und Wiederaufbereitung sind keine dedizierten Ziele festgelegt. Das stoffliche Recycling tritt damit womöglich in Konkurrenz zur Umnutzung und zur Wiederaufbereitung. Insbesondere die Ziele für den Einsatz von Rezyklaten könnten die Mengenströme für Umnutzung und Wiederaufbereitung beeinflussen. Die Zielhierarchie der Abfallrahmenrichtlinie und des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (insbesondere „Wiederverwertung“ vor „Recycling“) bleibt zwar ideell bestehen, wird jedoch nicht ausdrücklich incentiviert. In diesem Kontext ist auch anzumerken, dass die metallspezifischen Rückgewinnungsquoten ggf. für einzelne Metalle eine technische Herausforderung darstellen können, was folglich wiederum Druck auf andere Verwendungswege ausüben kann. (siehe hierzu (Seika & Kubli, 2024))

Mit der Umnutzung und Wiederaufbereitung sind noch zwei weitere rechtliche Bereiche kritisch zu berücksichtigen: Regelungen zum Handling und zur Demontage.

Gegenwärtig sind die Regelungen und die Standardisierung zum sicheren Handling insbesondere für EoL-Batterien noch in der Entwicklung begriffen. Relevante Richtlinien wie die ADR (Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße) wurden in jüngster Zeit zwar umfassender durch dedizierte Regelungen für Batterien ergänzt. Teilweise werden die Anforderungen an Lagerung und Transport jedoch noch nicht als konkret genug wahrgenommen. Zudem erfordern neue Batterietechnologien stetig neue Diagnose- und Sicherheitsstandards.

Im Hinblick auf die Demontage kann folgendes angemerkt werden. Für die Umnutzung und Wiederaufbereitung wird es technisch notwendig sein, einzelne Batterien in gewissem Maße zu demontieren. In der (geplanten) Altfahrzeugverordnung sind zwar Regelungen zur Entnehm- und Austauschbarkeit enthalten, jedoch gibt es keine Vorgaben – weder in der Altfahrzeugverordnung noch in der Batterieverordnung – zu Modularisierung und einer leichteren Demontage durch ein vorausschauendes Ökodesign (keine Maßnahmen zur Unterstützung von Second Life Anwendungen, fehlende Standardisierung). Dies könnte die Aufnahme von Tätigkeiten zur Umnutzung und Wiederaufbereitung erschweren.

- Verantwortungsumfang und -übergänge: Die Batterieverordnung enthält viele relevante Rollen und Pflichten, die den Übergang einer Batterie am Ende des ersten Lebenszyklus zum Second Life beeinflussen.

Wesentliche Fragestellung ist zunächst, wann ein neues Inverkehrbringen (oder neue Inbetriebnahme) vorliegt. Zu diesem Zeitpunkt muss die Batterie nämlich wieder alle relevanten Vorgaben einhalten.

Weiterhin ist die Frage von Bedeutung, wer für die Erfüllung der Pflichten dann folglich verantwortlich ist. In diesem Zusammenhang ist auch die Abfalleigenschaft bzw. das Ende der Abfalleigenschaft von herausragender Bedeutung, da für die Batterie als Produkt andere Vorgaben gelten als für Abfälle.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)

Daher sind die genauen Konstellationen am „ersten Lebensende“ für die Batterien immer genau abzugrenzen. Die Batterieverordnung enthält hierzu viele spezifische Einzelregelungen, die im Zusammenhang mit der Umnutzung und Wiederaufarbeitung berücksichtigt werden müssen (etwa zum CO₂-Fußabdruck, zu Rezyklatgehalten, Leistung und Haltbarkeit, ggf. Überarbeitung von Dokumenten bzgl. Sicherheit von stationären Energiespeichersystemen, Kennzeichnungen, ggf. Änderungen am Batteriemanagementsystem, Bewertung der Konformität).

Insbesondere die Art. 38 Abs. 11, Art. 56 Abs. 2 sowie Art. 77 der Batterieverordnung treffen auch Aussagen zu den verantwortlichen Akteuren. So gelten Wirtschaftsakteure, die Batterien zur Umnutzung vorbereiten oder umnutzen oder wiederaufarbeiten und die Batterien nach diesen Tätigkeiten in Verkehr bringen oder in Betrieb nehmen, als Erzeuger.

Weiterhin gelten die Wirtschaftsakteure, die zur Umnutzung vorbereitete, umgenutzte oder wiederaufgearbeitete Batterien erstmals auf dem Unionsmarkt bereitstellen als Hersteller. Die entsprechenden Wirtschaftsakteure erhalten etwa auch die Verantwortung für den Batteriepass (Erneuerung und Verknüpfung des Batteriepasses).

In Summe hält die Batterieverordnung für die Rollen / Akteure, die sich mit der Umnutzung und Wiederaufbereitung beschäftigen eine große Anzahl von Anforderungen bereit. Hinzu treten auch umfangreiche Pflichten aus anderen relevanten Regulierungen, wenn die Batterie neuerlich als Produkt auf dem Markt platziert wird (siehe auch oben die Ausführungen zum Rechtsrahmen). Um allen Anforderungen nachkommen zu können, müssen sich die Second Life-Akteure sicherlich stärker mit den ursprünglichen Erzeugern und Herstellern koordinieren und mit diesen zusammenarbeiten. Inwiefern sich dies bewerkstelligen lässt, kann gegenwärtig noch nicht beurteilt werden.

Grundsätzlich tragen diese Regelungen und Pflichten sicherlich dazu bei, dass nur konforme Batterien auf dem Markt bereitgestellt werden. Ggf. beinhalten sie aber auch wesentliche rechtliche Hürden und erschweren neuen Playern und Geschäftsmodellen den Markteintritt. Entsprechend könnten die Anforderungen auch einen negativen Einfluss etwa auf die Mengenströme der Umnutzung und Wiederaufbereitung haben.

Abschließend sei noch kurz auf Unklarheiten auch im Zusammenspiel mit dem (nationalen) Abfallrecht hingewiesen. In der Batterieverordnung ist etwa zu berücksichtigen, dass bestimmte Handlungen am ersten Lebensende nur an Batterien und andere auch oder nur an Altbatterien (Abfall) vorgenommen werden können. So lässt sich beispielsweise nur aus den Erwägungsgründen der Batterieverordnung ableiten, dass die Wiederaufarbeitung an Batterien und Altbatterien vorgenommen werden kann. Die Definition der Wiederaufarbeitung selbst geht auf die Abfalleigenschaft der Batterie aber nicht ein. In Folge stellt sich auch die Frage, wer die Wiederaufbereitung durchführen müsste / darf (bspw. Abfallbehandler). Weiterhin ergeben sich auch in Bezug auf nationales Abfallrecht Unklarheiten (-> wenig Harmonisierung), wann etwa die Abfalleigenschaft endet.

- Stoffrecht: In diesem Kontext ist auch noch auf evtl. Defizite hinzuweisen, die im Zusammenspiel mit stoffrechtlichen Regulierungen bestehen können. Stoffrechtliche Anforderungen (etwa ausgehend von der REACH-Verordnung aber auch aus der Batterie-

3.3 Mögliche Auswirkungen der Regelungen auf Umnutzung und Wiederaufbereitung (Pflichten der Akteure)

verordnung selbst) zielen darauf ab, bestimmte Stoffe aus Produkten perspektivisch zu verbannen und damit aus den Stoffkreisläufen auszuschleusen. Hier bestehen jedoch bis dato noch Unklarheiten zur Auslegung des Chemikalienrechts etwa bei der Umnutzung und Wiederaufbereitung und der ggf. anschließenden Neu-Inverkehrbringung oder -Inbetriebnahme (-> Einhaltung der jeweils aktuellen Stoffbeschränkungen). Diese Defizite in der Transparenz des Zusammenspiels zwischen Kreislaufwirtschaft und Stoffrecht werden zwar in den aktuellen Revisionsgesprächen stoffrechtlicher Regulierungen berücksichtigt, die Ergebnisse (ggf. Ausnahmenregime) stehen jedoch noch aus. Derzeit könnten die Unklarheiten eher hinderlich auf Geschäftsmodelle der Umnutzung und Wiederaufbereitung wirken.

4 Empirie

Es wurden empirische Daten über private Endkunden, Kfz-Werkstätten und weitere Wirtschaftsakteure erhoben. Dazu wurde eine Online-Umfrage unter Privatkunden durchgeführt (1152 Antworten, davon 837 vollständig), eine Online-Umfrage unter Kfz-Werkstätten (69 Antworten, davon 58 vollständig), sowie Interviews mit OEMs (2 Interviews), Altfahrzeugdemontagebetrieben (4 Interviews), Recyclern (1 Interview), Core Brokern (1 Interview) und Kfz-Werkstätten (10 Interviews). Da nicht alle Befragten Erfahrungen mit Traktionsbatterien vorweisen, wurde bei Bedarf die Kreislaufwirtschaft anderer Fahrzeug-Produktgruppen betrachtet.

4.1 Private Endkunden

Hinweis: Die Ergebnisse wurden in der Zeitschrift *Sustainable Production and Consumption* veröffentlicht und werden im Folgenden lediglich zusammengefasst. Der Artikel ist an folgender Stelle frei abrufbar:

Huster, S., Rosenberg, S., Hufnagel, S., Rudi, A., & Schultmann, F. (2024). Do consumers want reconditioned electric vehicle batteries? – A discrete choice experiment. *Sustainable Production and Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.027>

4.1.1 Studiendesign

Private Endkunden wurden in Hinblick auf ihre Bereitschaft, refabrizierte Ersatzbatterien zu verwenden, befragt. Hierzu wurde ein diskretes Auswahlexperiment durchgeführt, bei dem die Befragten aus drei Optionen die für sie bevorzugte auswählen konnten. Die präsentierte Situation war, dass die Befragten sich vorstellen sollten, ein Elektrofahrzeug zu besitzen, dessen Batterie nach Ablauf der Garantie defekt ist. Die Garantie betrug 8 Jahre oder 160.000 km, was einer üblichen Batteriegarantie entspricht (ADAC, 2022), so dass auch das zugehörige Fahrzeug mindestens dieses Alter bzw. diese Laufleistung erreicht hat. Die Befragten konnten sich nun zwischen drei Optionen entscheiden: a) sie kaufen eine neue Ersatzbatterie für das Fahrzeug; b) sie kaufen eine refabrizierte Ersatzbatterie für das Fahrzeug; oder c) sie stoßen das Fahrzeug ab und ersetzen es durch ein funktionsfähiges Fahrzeug. Diese Auswahlsituation wurde den Befragten jeweils 14-mal präsentiert, wobei sich in jeder Auswahlsituation die Attribute der Optionen unterschieden. Die Attribute waren der Neupreis des Fahrzeugs, der Preis der Ersatzbatterie, die erwartete Lebensdauer der Ersatzbatterie und der CO₂-Fußabdruck der Optionen. Ein Beispiel für eine Auswahlsituation ist in Abbildung 5 dargestellt.

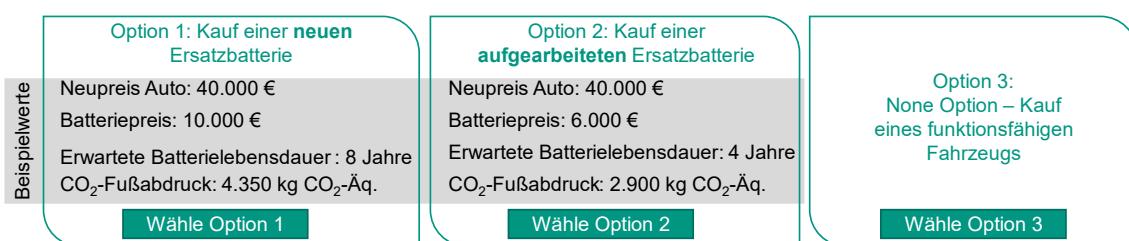


Abbildung 5: Beispiel für eine Auswahlsituation der befragten Endkunden

4.1.2 Auswertungsmethodik

Die Auswertung der Umfrage erfolgte mittels der Statistiksoftware „R“ und dem Paket „Apollo“ (Hess & Palma, 2019). Eine detaillierte Beschreibung der Auswertungsmethodik ist in Huster et al. (2024) enthalten und frei zugänglich.

Anhand der Antworten der Befragten lies sich der Nutzen ableiten, den die Befragten den Fahrzeug und Batterieeigenschaften und damit den verschiedenen Auswahloptionen zuweisen. Die Nutzenfunktion ist im Folgenden dargestellt:

$$U_{it} = asc_{it} + \sum_{\text{Batterieeigenschaften}} \beta^b \cdot x_{it}^b + \beta^v \cdot x_{it}^v + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

U_{it} bezeichnet dabei den Nutzen U , der durch Option i in Auswahlsituation t erreicht wird. Das heißt, dass in jeder Situation t , in der der Nutzen bestimmt werden soll, eine neue Berechnung durchgeführt werden muss. Das ist zum einen deshalb relevant, weil sich die Attribute x in den Auswahlsituationen voneinander unterscheiden (z. B. der Fahrzeugpreis oder der Batteriepreis). Zum anderen folgen die Bestandteile der Funktion Verteilungen, die bei jeder Berechnung einen anderen Wert annehmen.

Der erste Bestandteil, asc_{it} , bezeichnet die optionsspezifische „Konstante“ von Option i in Auswahlsituation t . Dabei handelt es sich um den Bestandteil des Nutzens, der unabhängig von den Attributsausprägungen, z. B. der Batterielebensdauer, erreicht wird. Er stellt somit die grundsätzliche Präferenz für eine oder andere Option dar. Würde zum Beispiel die Option „Kauf einer neuen Batterie“ unabhängig von ihrem Preis und dem Preis der Alternativen bevorzugt, würde die optionsspezifische Konstante der Option „Kauf einer neuen Batterie“ einen positiven Mittelwert aufweisen. Anders als der Name vermuten lässt, handelt es sich allerdings nicht um einen festen, konstanten Wert, sondern um eine normalverteilte Variable. In jeder Auswahlsituation t wird die Funktion, die durch den Mittelwert und die Standardabweichung definiert wird, aufgerufen und nimmt einen Wert innerhalb des Wertebereichs der Funktion an.

Die Bestandteile $\beta \cdot x$ bilden ab, wie bestimmt Attributsausprägungen x in der Nutzenberechnung mit β gewichtet werden. Dabei bezieht sich x_{it}^b auf die Ausprägungen der Batterieeigenschaften, und x_{it}^v auf die Ausprägungen der Fahrzeugeigenschaften. Während den Befragten die Attribute wie in Abbildung 5 dargestellt präsentiert wurden, wurden sie für die Auswertung codiert bzw. transformiert. Anstelle des absoluten Fahrzeugpreises wurden die Kategorien „niedriger Fahrzeugpreis“, „mittlerer Fahrzeugpreis“ und „hoher Fahrzeugpreis“ verwendet und mit 0, 1 und 2 (niedrig, mittel, hoch) codiert. Anstelle des Batteriepreises wurden Einsparungen in 10-Prozent-Schritten im Vergleich zu einer neuen Batterie verwendet. Die erwartete Lebensdauer wurde zu Lebensdauereinbußen in Jahren im Vergleich zu einer neuen Batterie transformiert, und der CO₂-Fußabdruck zu CO₂-Einsparungen in 10-Prozent-Schritten im Vergleich zu einer neuen Batterie. Wenn eine refabrizierte Batterie beispielsweise 8.000 € kostet und eine neue Batterie 10.000 €, ist $x_{\text{Option refabrizierte Batterie}, t}^{\text{Batteriepreiseinsparungen}} = 2$, weil zweimal 10 Prozent (=20 Prozent) eingespart werden. Würde $\beta^{\text{Batteriepreiseinsparungen}}$ einen Erwartungswert von 1,5 haben (nur Beispielwert!), würde der Nutzen der Option „refabrizierte Batterie“ im Mittel um $\beta \cdot x = 1,5 \cdot 2 = 3$ Nutzeneinheiten steigen. In der gleichen Auswahlsituation beträgt der x -Wert für die Op-

4 Empirie

4.1 Private Endkunden

tion „neue Batterie“ Null, da für die neue Batterie keine Einsparungen im Vergleich zu einer neuen Batterie erzielt werden.

4.1.3 Ergebnisse

Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der Befragung, in der die Wahl zwischen einer neuen Batterie, einer refabrizierten Batterie oder der sogenannten „Non-Option“ (kein Batteriewechsel, stattdessen Fahrzeugverkauf) untersucht wurde. Die optionsspezifischen Konstante (*asc*) der Option „Kauf einer neuen Batterie“ wurde als Referenzwert als „Null“ festgelegt. Im Vergleich dazu erhielten refabrizierte Batterien unabhängig von ihren Eigenschaften einen durchschnittlichen Zusatznutzen von 3,34 Einheiten, was auf eine Präferenz hinweist. Auch die Non-Option wurde im Mittel mit 0,89 Einheiten höher bewertet als eine neue Batterie. Allerdings zeigt die hohe Standardabweichung (4,24), dass die Meinungen hierzu stark auseinandergehen.

Der Fahrzeugpreis ($\beta^{Fahrzeugpreis}$) hatte einen deutlichen Einfluss auf die Entscheidung. Dabei dienten günstige Fahrzeuge als Referenzwert. Bei mittelpreisigen Fahrzeugen erhöhte sich der Nutzen für die Entscheidung zu einer neuen Batterie im Mittel um 1,5 Einheiten. Bei teuren Fahrzeugen verdoppelte sich dieser Effekt. Im Gegensatz dazu nahm der Nutzen für die Non-Option mit steigenden Fahrzeugkosten im Mittel ab (-0,14 Einheiten je Preiskategorie). Diese Ergebnisse zeigen, dass der Austausch einer Batterie umso attraktiver wird, je höher der Fahrzeugwert ist.

Tabelle 7: Ergebnisse der Kundenumfrage (Huster, Rosenberg, et al., 2024)

	μ	σ
$asc_{neueBatterie}$ ¹	0.00	0.00
$asc_{refabrizierteBatterie}$	3.34	2.47
$asc_{none\ Option}$	0.89	4.24
$\beta_{neueBatterie}^{Fahrzeugpreis}$	1.50	0.52
$\beta_{refabrizierteBatterie}^{Fahrzeugpreis}$	1.13	0.46
$\beta_{none\ Option}^{Fahrzeugpreis}$	-0.14	1.05
$\beta^{EinsparungenBatteriekosten}$	1.18	0.86
$\beta^{Lebensdauereinbußen}$	-1.53	1.03
$\beta^{EinsparungenCO2}$	0.26	0.29

¹: $asc_{neueBatterie}$ ist ein nicht-zufälliger Koeffizient, dessen Wert auf „0“ gesetzt wurde“ als Referenzwert für die anderen optionsspezifischen Konstanten (*asc*)

Auch die technischen und finanziellen Eigenschaften der Batterien beeinflussten die Kundenpräferenzen deutlich. Eine 10-prozentige Einsparung beim Batteriepreis erhöhte den Nutzen im Mittel um 1,18 Einheiten. Eine Reduktion der Lebensdauer um ein Jahr verringerte den Nutzen hingegen um 1,53 Einheiten. Der Vergleich dieser beiden Werte zeigt, dass ein zusätzliches Jahr Batterielebensdauer den Kunden ca. 30 % wichtiger ist als eine 10-prozentige Preissenkung.

Umweltaspekte, wie eine 10-prozentige CO₂-Einsparung, führten nur zu einem geringen Nutzenzuwachs von 0,26 Einheiten, mit einer geringen Standardabweichung von 0,29.

Zwischen den Befragten waren teils signifikante Unterschiede zu beobachten. So bevorzugten E-Fahrzeugbesitzer die Non-Option signifikant stärker als Nicht-E-Fahrzeugbesitzer. Sie bewerteten diese Option im Mittel viermal höher. Außerdem war für E-Fahrzeugbesitzer eine kürzere Batterielebensdauer 11 % weniger ausschlaggebend als für Personen ohne Elektroauto. Jüngere Befragte legten größeren Wert auf Kosteneinsparungen und bewerteten kürzere Batterielebensdauer als größeren Nachteil im Vergleich zu älteren Befragten. In den Faktoren Bildung, Einkommen und Wohnort ließen sich hingegen keine eindeutigen Trends feststellen.

Die Ergebnisse zeigen, dass refabrizierte Batterien grundsätzlich akzeptiert werden, aber nur unter bestimmten Bedingungen. Preis und Lebensdauer sind die entscheidenden Faktoren für die Kaufentscheidung, während Umweltaspekte nur eine untergeordnete Rolle spielen. Die deutlichsten Unterschiede im Entscheidungsverhalten sind zwischen Altersgruppen sowie zwischen E-Fahrzeugbesitzern und Nicht-E-Fahrzeugbesitzern zu beobachten.

4.2 Werkstätten

Hinweis: Die Ergebnisse wurden veröffentlicht und werden im Folgenden lediglich zusammengefasst. Der Artikel ist an folgender Stelle frei abrufbar:

Huster, S., Droll, M., & Schultmann, F. (2024). Refabrizierte Ersatzteile: Die Perspektive von Kfz-Werkstätten. Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

<https://doi.org/10.5445/IR/1000169062>

Refabrikation bezeichnet einen Prozess, bei dem gebrauchte Komponenten aufgearbeitet und zu Ersatzteilen verarbeitet werden, die mindestens die Spezifikationen des ursprünglichen Neuteils erfüllen. Dieser Prozess ist durch verschiedene internationale Normen geregelt (z. B. DIN SPEC 91472). Trotz der steigenden Bedeutung der Refabrikation wird aktuell nur ein geringer Anteil des weltweiten Ersatzteilbedarfs durch wiederaufbereitete Komponenten gedeckt. Bezogen auf Traktionsbatterien gibt es bisher nur ein begrenztes Angebot an Refabrikation (z. B. Autocraft Solutions Group, 2023; Stellantis, 2024), weshalb Kfz-Werkstätten kaum oder keine Erfahrungen damit machen konnten. Deshalb wurde stellvertretend die Wahrnehmung refabrizierter Ersatzteile im Allgemeinen erhoben. Der Einschätzung der Kfz-Werkstätten wird deshalb eine besondere Bedeutung zugemessen, weil sie eine Doppelrolle als Abnehmer refabrizierter und Anbieter refabrizierbarer Teile einnehmen.

4.2.1 Methodik der Untersuchung

Zur Erhebung der Daten wurde eine Online-Umfrage durchgeführt, die an 253 Kfz-Innungen sowie an 525 zufällig ausgewählte Werkstätten in Deutschland versendet wurde. Zusätzlich wurden Mitglieder des Verbandes des Kfz-Gewerbes Baden-Württemberg über die Umfrage informiert. Insgesamt gab es 58 vollständig ausgefüllte und 11 teilweise ausgefüllte Umfragebögen. Abbildung 6 zeigt die Zusammensetzung der Stichprobe nach Werkstattyp, Entscheidungsfreiheit über das Sortiment und Betriebsgröße. Außerdem wurden zehn Interviews mit Kfz-

4 Empirie

4.2 Werkstätten

Werkstätten im Vorfeld der Umfrageerstellung geführt, um relevante Themenbereiche für die Umfrage zu identifizieren.

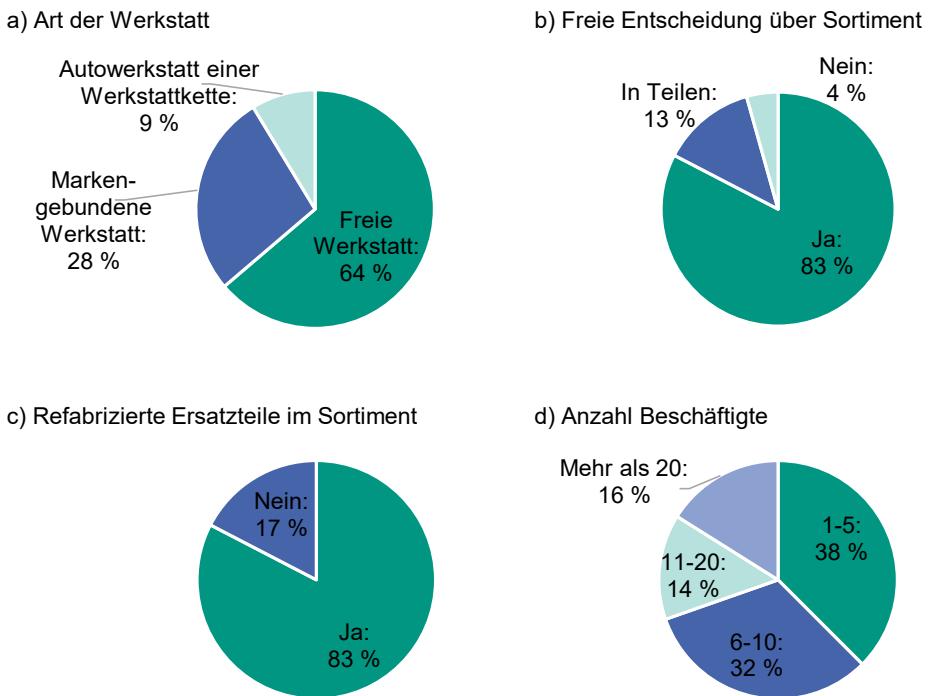


Abbildung 6: Zusammensetzung der Stichprobe nach Werkstatttyp, Entscheidungsfreiheit über das Sortiment und Betriebsgröße (Huster, Droll, et al., 2024)

4.2.2 Ergebnisse der Werkstattbefragung

Einstellung zu refabrizierten Ersatzteilen

Die allgemeine Wahrnehmung refabrizierter Ersatzteile in Kfz-Werkstätten ist uneinheitlich. Die Mehrheit der Befragten bewertet refabrizierte Teile positiv hinsichtlich Preisvorteile für Kunden und Umweltfreundlichkeit. Allerdings bestehen auch Bedenken:

- **Sicherheitsbedenken:** Einige Werkstätten zweifeln daran, dass refabrizierte Teile dieselbe Qualität und Zuverlässigkeit wie Neuteile aufweisen.
- **Durchsetzbarkeit** von Gewährleistungsansprüchen: Viele Werkstätten berichten von Schwierigkeiten bei Reklamationen gegenüber Aufbereitern.
- **Wirtschaftlichkeit:** Aufgrund niedrigerer Verkaufspreise ist die absolute Marge für Werkstätten geringer als bei Neuteilen, was ökonomische Anreize reduziert.

Trotz dieser Bedenken gibt es Werkstätten, die konsequent refabrizierte Ersatzteile bevorzugen, wenn sie verfügbar sind.

Abbildung 7 zeigt eine detaillierte Bewertung refabrizierter Ersatzteile nach verschiedenen Kriterien.

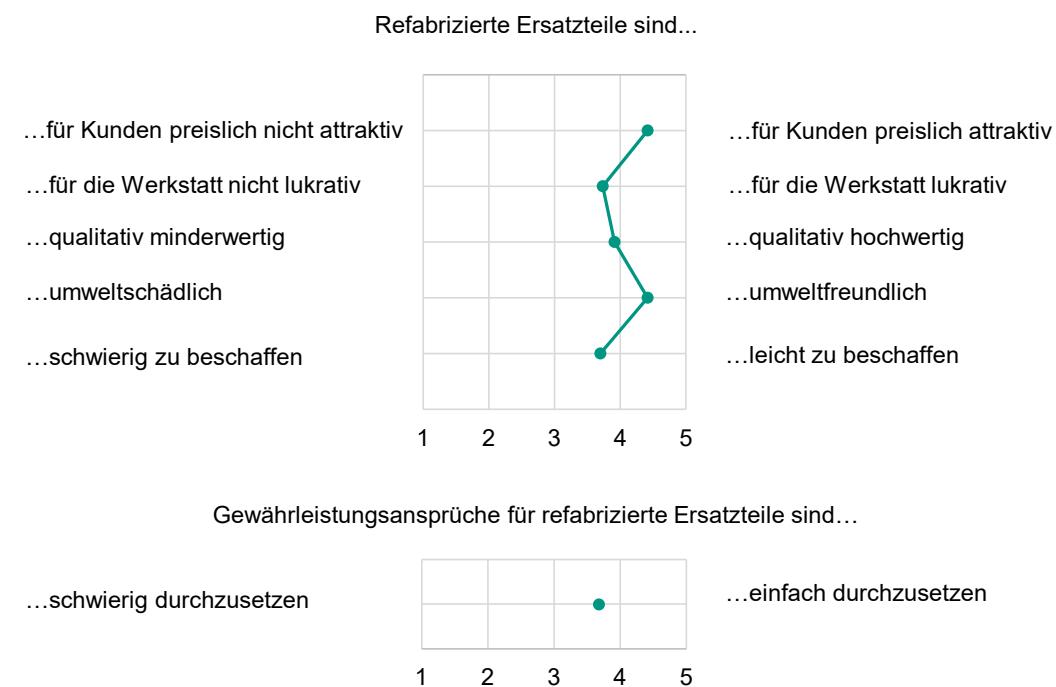


Abbildung 7: Bewertung refabrizierter Ersatzteile (Huster, Droll, et al., 2024)

Zahlungsbereitschaft für Ersatzteile

Die Umfrage untersuchte die Preisbewertung verschiedener Ersatzteiloptionen. Ein Neuteil eines Drittanbieters wurde dabei durchschnittlich mit 67,62 % des Originalpreises bewertet. Ein refabriziertes Ersatzteil vom Originalhersteller erhielt eine ähnliche Bewertung. Ein refabriziertes Ersatzteil von Drittanbietern erhielt eine deutlich geringere Bewertung von 50 % des Neuteilpreises. Besonders skeptisch wurden refabrizierte Ersatzteile von unabhängigen Aufbereitern betrachtet, die von Werkstätten ohne Refabrikationsangebot sogar nur mit 42,86 % des Originalpreises bewertet wurden.

Abbildung 8 zeigt die Zahlungsbereitschaft für verschiedene Ersatzteiloptionen.

Bezugsquellen und Entscheidungshoheit über Ersatzteile

Werkstätten, die refabrizierte Teile nutzen, beziehen diese aus verschiedenen Quellen:

- Großhändler (72 %)
- Automobilhersteller (58 %)
- Unabhängige Refabrikanten (40 %)

Markengebundene Werkstätten beziehen mit 82 % überdurchschnittlich häufig refabrizierte Teile direkt vom Automobilhersteller.

4 Empirie

4.2 Werkstätten

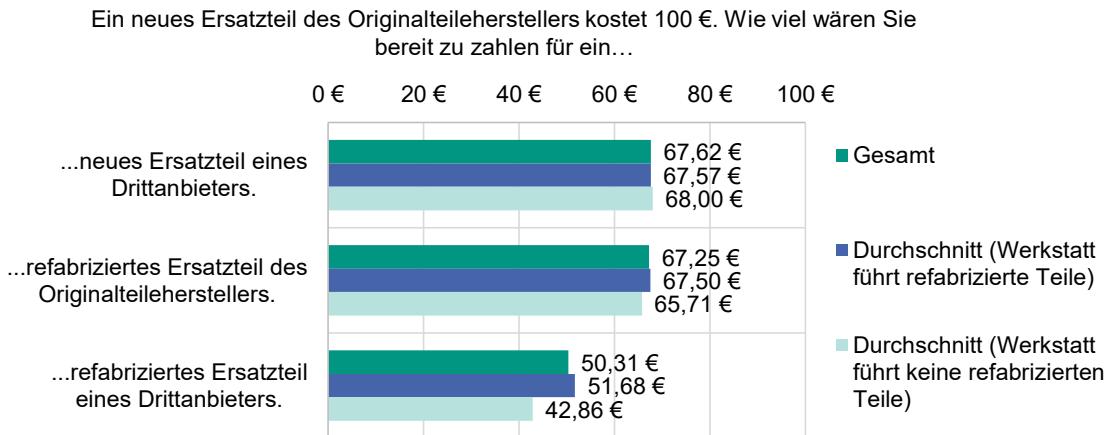


Abbildung 8: Zahlungsbereitschaft für verschiedene Ersatzteilloptionen (Huster, Droll, et al., 2024)

Die Entscheidung, ob ein refabriziertes oder neues Ersatzteil verwendet wird, wird meist gemeinsam zwischen Werkstatt und Kunde getroffen. Werkstätten mit Refabrikationsangebot schätzen, dass sie in 66 % der Fälle generalüberholte Ersatzteile nutzen, wenn diese verfügbar sind.

Gebrauchteile als Ressourcen für die Refabrikation

Werkstätten übernehmen eine Doppelrolle: Sie verwenden refabrizierte Ersatzteile und sie geben gebrauchte Fahrzeugteile zur Aufarbeitung weiter.

59 % der Werkstätten entscheiden eigenständig, an wen sie aus Fahrzeugen ausgebaute Altteile abgeben. Hauptabnehmer für Altteile sind Großhändler (51 %), Automobilhersteller (39 %) und Recyclingunternehmen (36 %). Die Entsorgungskosten und Erlösmöglichkeiten variieren stark je nach Art des Bauteils.

Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen wurden bisher selten von den befragten Werkstätten entnommen. Lediglich 20 % der Befragten haben bereits solche Batterien ausgebaut. Gründe dafür sind zum einen der bisher geringe Anteil von Elektrofahrzeugen an der Gesamtzahl an Fahrzeugen in Deutschland, zum anderen aber auch Sicherheitsvorschriften sowie Unsicherheiten hinsichtlich Rücknahmesystemen.

4.2.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass refabrizierte Ersatzteile von Kfz-Werkstätten teilweise positiv bewertet werden, insbesondere in Bezug auf Preis und Umweltfreundlichkeit. Dennoch bestehen Hemmnisse in der Nutzung:

1. Unklare Definitionen und mangelnde Transparenz
 - Die Abgrenzung zwischen „refabrizierten“, „aufgearbeiteten“ und „gebrauchten“ Teilen ist oft unklar.
 - Werkstätten fordern eine eindeutige Kennzeichnung von Ersatzteilen, um Qualitätsunterschiede erkennbar zu machen.

2. Gewährleistung als Hürde
 - Werkstätten berichten, dass im Reklamationsfall oft nur das Ersatzteil ersetzt wird, nicht jedoch die Arbeitskosten für Aus- und Einbau.
 - Besonders bei Drittanbietern sind Unsicherheiten in der Haftung vorhanden.
3. Ökonomische Attraktivität für Werkstätten gering
 - Die niedrigere absolute Marge bei günstigeren Ersatzteilen mindert den Anreiz für Werkstätten, refabrizierte Teile aktiv zu empfehlen.
4. Rücknahmesysteme für Altteile optimieren
 - Besonders für Traktionsbatterien gibt es Unsicherheiten bei der Rückgabe.
 - Werkstätten fordern einfachere Rückgabemöglichkeiten durch die Hersteller.

4.3 OEMs, Recycler, Altautodemontagebetriebe

Interviews mit Batterie-Recyclern, Automobilherstellern, Batterieherstellern, Umnutzungsbetrieben von Traktionsbatterien, Core Brokern und Aufarbeitern von Automobilkomponenten und Altautodemontagebetrieben wurden angefragt. Zwei Automobilhersteller, ein Batterie-Recycler, vier Altautodemontagebetriebe und ein Core Broker waren zu Gesprächen bereit. Die Interviews offenbarten eine starke Ausrichtung der End-of-Life-Aktivitäten an der Wirtschaftlichkeit. Die Befragten standen sowohl dem Recycling, als auch der Umnutzung und der Refabrikation positiv gegenüber, sofern die jeweiligen Optionen wirtschaftlich nachhaltig sind. Idealerweise sollte dies mit ökologischer Nachhaltigkeit einher gehen. Unsicherheiten wurden hinsichtlich des rechtlichen Rahmens geäußert, zum Beispiel hinsichtlich der Verantwortlichkeiten und Haftung für Zweitnutzungen, oder der Verbringung von (Abfall-)Batterien innerhalb europäischer Grenzen. Außerdem wurde als Hindernis für eine Batterie-Kreislaufwirtschaft in Europa ein möglicher Abfluss von Elektrofahrzeugen oder deren Batterien über europäische Grenzen hinaus genannt. Ein solcher Abfluss hätte sowohl ökologische Folgen, falls in dem Zielland geringere Anforderungen an die Batterieverwertung gestellt werden, als auch ökonomische, da die in den Batterien enthaltenen Rohstoffe nicht für einen europäischen Kreislauf zur Verfügung ständen.

Ergänzt wurden die Gespräche durch eine Internet-Recherche zu den End-of-Life-Batterie-Aktivitäten von Automobilherstellern. Tabelle 8 stellt diese dar, wobei anzumerken ist, dass einige Aktivitäten zwar genannt werden, es aber nicht ersichtlich ist, ob sie bereits umgesetzt oder für die Zukunft evaluiert werden.

4 Empirie

4.3 OEMs, Recycler, Altautodemontagebetriebe

Tabelle 8: Batterie-End-of-Life-Aktivitäten der Fahrzeughersteller

Hersteller	Refabrikation	Repurposing	Recycling	Quellen
BMW Group		✓	✓	[1], [2]
Hyundai Motor Group	✓	✓	✓	[3], [4]
Mercedes-Benz AG	✓	✓	✓	[5], [6]
Renault Group	✓	✓	✓	[7]
Stellantis	✓	✓	✓	[8]
Toyota Motor Corporation	✓	✓	✓	[9]
Volkswagen Konzern	✓	✓	✓	[10], [11], [12], [13]
TESLA			✓	[14]
BYD		✓	✓	[15]
LUCID	✓	✓	✓	[16], [17]
NIO		✓	✓	[18], [19]

[1]: BMW Group, n.d.; [2]: BMW Group, 2023; [3]: Hyundai, 2024; [4]: Schaal, 2021; [5]: Mercedes-Benz, n.d.; [6]: Mercedes-Benz, 2023; [7]: Renault Group, 2024; [8]: Stellantis, 2023; [9]: Toyota, n.d.; [10]: Volkswagen, 2020; [11]: Volkswagen, 2025; [12]: Audi, 2022; [13]: Porsche, 2024; [14]: Tesla, 2025; [15]: Shanghai Metals Market, 2022; [16]: Lucid, 2023; [17]: Alamalhodaei, 2021; [18]: NIO, 2022; [19]: NIO, 2024.

5 Modellierung und Auswertung

5.1 Simulation

Hinweis: Die Ergebnisse wurden zur Veröffentlichung in einer wissenschaftlichen Zeitschrift eingereicht und werden an dieser Stelle lediglich zusammengefasst. Bis zur Veröffentlichung in einer Zeitschrift sind sie als *Preprint* an folgender Stelle frei abrufbar:

Huster, S., Heck, R., Rudi, A., Rosenberg, S., & Schultmann, F. (2025). [Preprint] Will electric vehicle battery reconditioning succeed? - A flexible simulation approach considering stakeholders' interests (5191019). SSRN.

Ein Teil der Simulation ist außerdem an folgender Stelle dargestellt:

Huster, S., Unterladstätter, T., Rosenberg, S., Rudi, A., & Schultmann, F. (2023). Simulationse Bestimmung der Nachfrage nach wiederaufgearbeiteten Produkten unter Berücksichtigung von Kundenpräferenzen. In Bergmann, Feldkamp, Souren, & Straßburger (Hrsg.), Simulation in Produktion und Logistik 2023: Tagungsband (S. 81–90). Universitätsverlag Ilmenau. <https://doi.org/10.22032/dbt.57811>

Das Simulationsmodell bildet ab, wie die Mengen zu recycelnder, umzunutzender, und zu refabrizierender Batterien bis 2050 prognostiziert werden kann. Darüber hinaus werden die Gesamtzahl rücklaufender Traktionsbatterien aus Fahrzeugen und die Gesamtzahl rücklaufender Traktionsbatterien inklusive derer, die umgenutzt wurden, erfasst. Außerdem wird die Refabrikationsmenge in Angebot und Nachfrage unterteilt. Eine zeitliche Auflösung in fünfjährigen Intervallen von 2025 bis 2050 wurde gewählt, wobei Zwischenwerte interpoliert werden können. Dabei erfüllt das Modell drei Anforderungen:

- 1. Parametrisierbarkeit:** Das Modell muss flexibel genug sein, um unterschiedliche Annahmen zu variieren, insbesondere hinsichtlich der Fahrzeug- und Batterielebensdauer, Marktpreise, Kundenpräferenzen und regulatorischer Vorgaben. Dies ermöglicht die Simulation verschiedener Zukunftsszenarien und damit die robuste Planung von Batterie-End-of-Life-Kapazitäten.
- 2. Technologieoffenheit:** Die End-of-Life-Optionen Refabrikation, Recycling und Repurposing müssen gleichwertig behandelt werden, um eine realistische Abbildung des Marktes zu gewährleisten. Das Modell muss zudem flexibel genug sein, um unterschiedliche Kathodenmaterialien und Batterietechnologien zu integrieren, da die technologische Entwicklung nicht sicher vorhersehbar ist.
- 3. Integration der Stakeholder-Interessen:** Neben den Produkteigenschaften von Elektrofahrzeugen und Traktionsbatterien sollten auch die Interessen der beteiligten Stakeholder einbezogen werden, darunter OEMs, Recycler, Werkstätten und Endkunden. Die regulatorischen Anforderungen, insbesondere die EU-Batterieverordnung, sollten ebenfalls in das Modell integriert werden.

5 Modellierung und Auswertung

5.1 Simulation

Das entwickelte Simulationsmodell beruht auf einer Kombination aus ereignisdiskreter und agentenbasierter Modellierung. Die zentrale Logik ist in Abbildung 9 dargestellt und umfasst:

- **Input-Parameter:** Insgesamt wurden 49 Parameter integriert, darunter:
 - Neuzulassungszahlen von E-Fahrzeugen (2015-2050)
 - Fahrzeug- und Batterielebensdauer
 - Kosten- und Gewinnentwicklung für Recycling, Umnutzung und Refabrikation
 - Kundenpräferenzen (siehe Abschnitt 4.1)
 - Gesetzliche Vorgaben der EU-Batterieverordnung
- Eine vollständige Auflistung der Parameter ist in Anhang A1 zu finden.
- **Dynamik der Fahrzeug- und Batterienutzung:**
 - Fahrzeuge und Batterien werden separat produziert und nach ihrer Nutzungsdauer weiterverarbeitet.
 - Nach Erreichen der Lebensdauer fallen Batterien als Rückläufer an und durchlaufen einen Entscheidungsprozess.
- **Entscheidungslogik für Fahrzeuge:**
 - Fällt ein Fahrzeug aus, wird entschieden, ob es recycelt oder mit einer neuen/refabrizierten Batterie weiterbetrieben wird.
 - Die Gesamtnachfrage nach Ersatzbatterien ergibt sich aus den Fahrzeugrückläufen intakter Fahrzeuge, für die sich die Kunden für eine Ersatzbatterie entscheiden.
- **Entscheidungslogik für Batterien:**
 - Ausgebaute Batterien können entweder recycelt, refabriziert oder für andere Anwendungen umgenutzt werden.
 - Die Wahl des Verwertungsweges hängt von wirtschaftlichen und regulatorischen Faktoren ab.

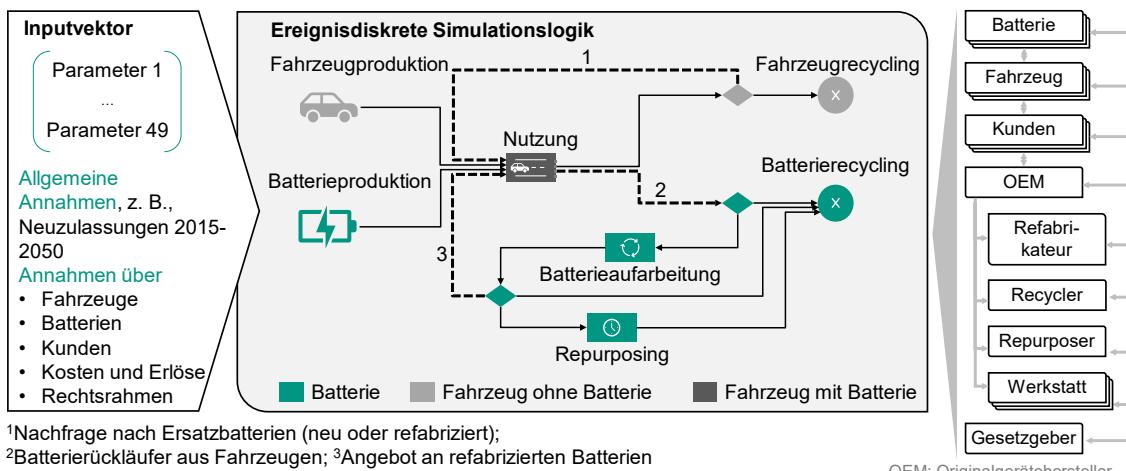


Abbildung 9: Simulationslogik des ereignisdiskreten und agentenbasierten Simulationsmodells
(Huster, Heck, et al., 2025)

Die Akteure sind wie folgt abgebildet:

Wirtschaftsakteure: OEMs, Refabrikateure, Umnutzer, Recycler und Werkstätten:

Wie in Abschnitt 4.3 dargelegt, ist die Wirtschaftlichkeit der wichtigste Entscheidungsfaktor für die beteiligten Unternehmen. Entsprechend sind für sie wirtschaftliche Faktoren im Simulationsmodell integriert. Basis ihrer Entscheidungen sind die Kosten und Erlöse der verschiedenen End-of-Life-Optionen. Wie in Abbildung 10 dargestellt, werden für das Recycling und die Umnutzung (Repurposing) Gewinnerwartungen (positiv oder negativ) pro kWh in Prozent des Neupreises als Parameter an das Modell übergeben. Die Werte werden jeweils für die Jahre 2023 und 2050 angegeben, dazwischen findet eine lineare Interpolation statt. Die Kopplung an den Neupreis erübrigt die Berücksichtigung von Inflation oder Diskontierung. Annahmegemäß agiert der OEM auch als Refabrikator und Umnutzer, was durch die Verantwortungsübergänge an die entsprechenden Akteure begründet ist (siehe Abschnitt 3 Recht). Bezogen auf die Refabrikation werden nicht die Gewinnerwartungen als Parameter an das Modell übergeben, sondern die Kostenerwartungen in Prozent des Neupreises. So kann der OEM/Refabrikator über den Verkaufspreis refabrizierter Batterien entscheiden und damit die Nachfrage steuern. Schließlich ist der Preis refabrizierter Batterien eine wichtige Determinante in der Kaufentscheidung privater Endkunden (siehe Abschnitt 4.1), und die Nachfrage nach refabrizierten Batterien kannibalisiert in Teilen die Nachfrage nach neuen Ersatzbatterien. Im Modell wird jährlich gewinnmaximierende über den Verkaufspreis entschieden, wobei flexibel zwischen 30 %, 50 % und 70 % des Neupreises gewählt wird.

Während der Garantiezeit entscheiden OEMs, ob im Garantiefall eine neue oder eine refabrizierte Ersatzbatterie gewählt wird. Ein Inputparameter ist die Entscheidung, ob grundsätzlich nur neue Batterien verwendet werden, oder ob refabrizierte Batterien gewählt werden, wenn die Refabrikation günstiger als die Neuproduktion ist. Nach Ablauf der Garantie sind Werkstätten an der Entscheidung beteiligt, ob eine refabrizierte Batterie verwendet wird. Da die Wahrnehmung zu refabrizierten Ersatzteilen uneinheitlich zwischen den Werkstätten war (siehe Abschnitt 4.2), bildet einer der Inputparameter die Grundlage für eine Zufallsvariable, die im Modell abbildet, ob Werkstätten solche Ersatzteile führen oder nicht.

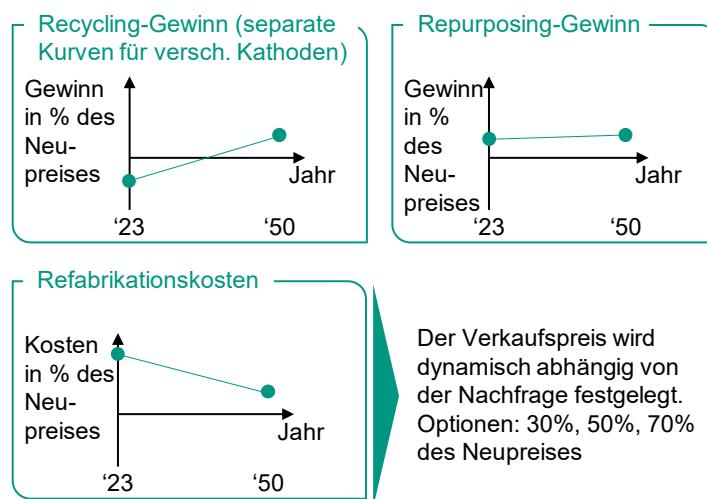


Abbildung 10: Abbildung wirtschaftlicher Faktoren (Huster, Heck, et al., 2025)

5.2 Fallstudie

Private Endkunden

Für die Entscheidung privater Endkunden, nach Ablauf der Batteriegarantie im Falle eines Batterieausfalls eine neue oder aufgearbeitete Ersatzbatterie zu erwerben oder das Fahrzeug abzustoßen, sind Nutzenfunktionen hinterlegt wie sie in Abschnitt 4.1 dargestellt werden. In jeder Entscheidungssituation wird der Nutzen einer jeden Option berechnet und die Option mit dem höchsten Nutzen wird gewählt. Ergibt die Berechnung, dass refabrizierte Batterien gewählt werden, stehen diese aber nicht zur Verfügung, wird die Option mit dem zweithöchsten Nutzen (neue Ersatzbatterie oder Abstoßen des Fahrzeugs) gewählt.

Einfluss der EU-Batterieverordnung

Die EU-Batterieverordnung ist im Simulationsmodell in Form von Recyclingeffizienzen und Vorgaben zu Mindestzyklatanteilen inkludiert. Als Recyclingeffizienz werden die ab 2028 geforderten Mindestvorgaben für die stoffliche Verwertung angenommen (90 % bei Kobalt, 50 % bei Lithium, 90 % bei Nickel. Ab 2032: 95 % bei Kobalt, 80 % bei Lithium, 95 % bei Nickel). Außerdem gelten Mindestzyklatanteile: Ab dem 18. August 2031 müssen neue Batterien 16 % Kobalt, 6 % Lithium und 6 % Nickel aus recyceltem Material enthalten. Ab 18. August 2036 steigen diese Anteile auf 26 % Kobalt, 12 % Lithium und 15 % Nickel aus recyceltem Material.

OEMs sind nicht verpflichtet, dieses Material aus ihren eigenen Batterien zu gewinnen. Im Modell kann jedoch optional eingestellt werden, dass dies gewünscht ist. Falls OEMs entscheiden, dass recyceltes Material aus eigenen Beständen stammen muss, kann dies dazu führen, dass Recycling von End-of-Life-Batterien erzwungen wird, auch wenn wirtschaftlich andere Verwertungswege attraktiver wären.

Zusätzlich wird Produktionsausschuss als Quelle für recyceltes Material in das Modell integriert, um realistische Materialströme abzubilden.

Fazit

Das entwickelte Simulationsmodell ermöglicht eine detaillierte Analyse der zukünftigen Entwicklung des Marktes für refabrizierte Batterien. Es berücksichtigt sowohl technologische als auch wirtschaftliche und regulatorische Faktoren und bietet eine Grundlage für strategische Entscheidungen der beteiligten Stakeholder.

5.2 Fallstudie

Zur Demonstration des Simulationsmodells werden im Folgenden Fallstudien vorgestellt. Zunächst wird ein Referenzszenario eingeführt, von dem ausgehend weitere Szenarien abgeleitet werden.

5.3 Referenzszenario

Das Referenzszenario beschreibt eine mögliche Entwicklung des deutschen Marktes für Elektrofahrzeugbatterien, die das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht haben. Grundlage für die Simula-

tion bilden sowohl historische als auch prognostizierte Verkaufszahlen von BEVs in Deutschland. Die Modellierung deckt einen Zeitraum von 36 Jahren ab, beginnend im Jahr 2015, um die tatsächliche Marktentwicklung möglichst realitätsnah abzubilden. Ein wichtiger Bestandteil des Szenarios ist die Annahme, dass sich Kathoden aus Lithium-Eisenphosphat (LFP) künftig stärker durchsetzen werden („LFP-Szenario“, Xu et al., 2020). Die durchschnittliche Lebensdauer von Elektrofahrzeugen wird auf 14 Jahre geschätzt (Oguchi & Fuse, 2015), während die Batterien je nach Typ unterschiedlich lange genutzt werden können: 10 Jahre für Nickel-Mangan-Kobalt-(NMC) und Nickel-Kobalt-Oxid-Kathoden (NCO) (Shafique et al., 2023) sowie 12 Jahre für Batterien mit anderen Kathodenmaterialien (Ding et al., 2019). Die Garantiezeit beträgt in der Regel 8 Jahre (ADAC, 2022) und wird im Referenzfall auf diesen Wert gesetzt. Während der Produktion fallen zudem etwa 10 % der Batterien als Ausschuss an, welcher annahmegemäß recycelt und wieder in den Produktionskreislauf eingebracht wird (Koenig, 2024).

Für den Austausch defekter Batterien während der Garantiezeit wird angenommen, dass ausschließlich neue Batterien verwendet werden. Wiederaufbereitete Batterien erreichen nicht die ursprüngliche Leistungsfähigkeit neuer Modelle (Autocraft Solutions Group, 2023), weshalb ihre Lebensdauer im Referenzfall um vier Jahre reduziert wird. Zudem verursachen sie annahmegemäß nur etwa die Hälfte der CO₂-Emissionen im Vergleich zu einer neu produzierten Batterie (Arnold et al., 2021). Die Gewinnmarge für neue Batterien wird auf 20 % gesetzt (Zhang & Yang, 2023), während die Kosten für die Wiederaufbereitung auf 40 % des Neupreises geschätzt werden (Colledani et al., 2014).

Ab den Jahren 2031 bzw. 2036 schreibt die EU-Batterieverordnung verpflichtende Mindestanteile an recycelten Rohstoffen in neuen EV-Batterien vor. So müssen ab August 2031 16 % des Kobalts, 6 % des Lithiums und 6 % des Nickels aus recycelten Quellen stammen; ab August 2036 erhöhen sich die Quoten auf 26 % für Kobalt, 12 % für Lithium und 15 % für Nickel (Europäisches Parlament & Europäischer Rat, 2023). Diese Rezyklatmengen sollen im Referenzfall aus dem betrachteten System stammen. Das heißt, es kann Recycling erzwungen werden, um ausreichend Rezyklat zu erhalten, auch wenn eine andere Verwertungsoption finanziell lohnenswerter wäre.

Im Jahr 2021 wurden von den endgültig stillgelegten Fahrzeugen in Deutschland lediglich ca. 14 % in Deutschland verwertet; weitere 79 % wurden als Gebrauchtfahrzeuge in andere EU-Staaten exportiert (Umweltbundesamt, 2024). Auf EU-Ebene werden jährlich ca. 700.000 bis 1,2 Millionen Gebrauchtfahrzeuge exportiert (UN Environment Programme, 2024), sechs bis sieben Millionen Fahrzeuge werden innerhalb der EU verwertet, und bei drei bis fünf Millionen Fahrzeugen ist der Verbleib unklar (Kitazume et al., 2020). Es wird auf Basis von Expertengesprächen geschätzt, dass Elektrofahrzeuge zu einem geringeren Anteil exportiert werden als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, so dass im Referenzfall für den Betrachtungsraum Deutschland davon ausgegangen wird, dass 50 % der Fahrzeuge und Batterien innerhalb des betrachteten Systems endgültig stillgelegt und verwertet werden.

5.4 Vergleichsszenarien

Die weiteren Szenarien bauen auf dem Referenzszenario auf und bilden ab, wie sich die Entscheidungen einzelner Akteure auf das Gesamtsystem auswirken.

Förderung von Reparatur

Die Ökodesign-Verordnung 2023/826 und die „Recht-auf-Reparatur“-Richtlinie 2024/1799 stärken das Recht auf Reparatur, nehmen den Kfz-Bereich dabei aber aus. Jedoch ergibt sich die Entnehm- und Austauschbarkeit von E-Fahrzeugbatterien aus der vorgeschlagenen neuen Altfahrzeugverordnung. Auch die EU-Batterieverordnung 2023/1542 sieht Reparaturbetriebe als legitime Nutzer der Informationen des Produktpasses. Im **Szenario „Reparatur“** wird angenommen, dass die Reparaturfähigkeit von Traktionsbatterien gestärkt wird, zum Beispiel durch die Definition von Reparaturfähigkeit, und zum anderen durch eine stärkere Normung von Batteriekomponenten und des Batteriedesigns. Infolgedessen könnte sich die Lebensdauer von Traktionsbatterien erhöhen. Anstelle einer Lebensdauer von durchschnittlich 10 Jahren für NCA- und NMC-Batterien und 12 Jahren für LFP-Batterien, werden in diesem Szenario 14 Jahre mittlere Lebensdauer für alle Batterietypen angenommen. Die Lebensdauern folgen weiterhin Weibull-Verteilungen.

Produktabfluss über Ländergrenzen

Während im Referenzfall angenommen wird, dass 50 % der Fahrzeuge und Batterien außerhalb der Systemgrenzen verwertet werden, wird in den **Szenarien „Produktabfluss 20 %“ und „Produktabfluss 80 %“** angenommen, dass weniger bzw. mehr Batterien im System gehalten werden. Im Fall „Produktabfluss 80 %“ wird der aktuelle Fall angenähert, in dem weniger als 20 % der in Deutschland endgültig abgemeldeten Fahrzeuge auch in Deutschland verwertet werden. Der Fall „Produktabfluss 20 %“ geht davon aus, dass eine Kombination von staatlichen Maßnahmen den Verbleib von Batterien in Deutschland fördert. Dazu können eine stärkere Kontrolle von Exporten gehören, um die irreguläre Verbringung von Altfahrzeugen, die möglicherweise als Gebrauchtfahrzeuge gekennzeichnet sind, zu unterbinden, aber auch eine stärkere Information der Konsumenten über die Umweltauswirkungen der illegalen Verbringung, um Anreize zur ordnungsgemäßen Abgabe von Altfahrzeugen zu setzen. Auch die Einführung eines Pfandsystems auf Traktionsbatterien ist denkbar.

Rezyklatmengen der EU-Batterieverordnung

Die EU-Batterieverordnung sieht ab August 2031 bzw. ab August 2036 Mindestrezyklatanteile in neuen Batterien vor. Um die Bedeutung von langfristiger Planungssicherheit zu untersuchen, werden die Szenarien **„Mindestrezyklatanteil null“ und „Mindestrezyklatanteil doppelt“** untersucht. Dabei wird im Fall „Mindestrezyklatanteil null“ angenommen, dass keine Rezyklate aus dem betrachteten System gewonnen werden müssen, um sie für die Produktion neuer Batterien zu verwenden. Das kann zum Beispiel dadurch geschehen, dass Batteriehersteller die Rezyklate aus anderen Märkten beziehen, oder dadurch, dass die EU-Vorgaben geändert werden. Im Fall „Mindestrezyklatanteil doppelt“ werden die EU-Vorgaben verdoppelt, das heißt ab August 2031 müssen mindestens 32 % des Kobalts, 12 % des Lithiums und 12 % des Nickels aus recycelten Quellen stammen; ab August 2036 erhöhen sich die Quoten auf 52 % für Kobalt, 24 % für Lithi-

um und 30% für Nickel. Diese neuen Grenzwerte könnten durch eine Verschärfung des EU-Rechts erreicht werden oder durch freiwillige Selbstverpflichtungen von Herstellern.

Forcierung einzelner Verwertungswege

Außerdem können gezielt die Verwertungswege Refabrikation, Umwidmung oder Recycling forciert werden. Im Szenario „**Refabrikation für Endkunden stark**“ wird die Nachfrage durch Endkunden nach refabrizierten Batterien gestärkt, indem die Qualität erhöht und die Treibhausgasemissionen der Refabrikation gesenkt werden. Statt vier Jahren Lebensdauereinbußen im Referenzfall wird angenommen, dass refabrizierte Batterien eine zwei Jahre geringere Lebenserwartung haben als neue Batterien, und es werden 20 % anstelle von 50 % der Treibhausgasemissionen bei der Refabrikation im Vergleich zur Neuproduktion verursacht. Außerdem wird Transparenz über die Haftung für refabrizierte Batterien bei Werkstätten und Endkunden geschaffen und Kunden werden über die Austauschbarkeit der Batterien informiert. So wird die Wahrscheinlichkeit, dass Kfz-Werkstätten refabrizierte Batterien anbieten, annahmegemäß von 50 % auf 80 % erhöht.

Der Fall „**Refabrikation für Garantiefälle stark**“ nimmt an, dass OEMs beabsichtigen, refabrizierte Batterien in Garantiefällen einzusetzen. Während im Referenzfall ausschließlich Neubatterien in Garantiefällen verwendet werden, werden nun refabrizierte Batterien gewählt, wenn die Refabrikation günstiger ist als die Neuproduktion. Es wird angenommen, dass dies einen Anreiz für den Hersteller darstellt, die Kosten des Refabrikationsprozesses zu optimieren und damit zu halbieren. Auch eine Subventionierung refabrizierter Batterien würde die Kosten senken.

Im Szenario „**Umwidmung stark**“ verdoppelt sich die Marge für umgewidmete Batterien. Das kann durch eine stärkere Nachfrage nach Speicherlösungen erreicht werden oder durch Subventionierung. Das Szenario „**Recycling stark**“ geht analog davon aus, dass sich die Marge für das Batterierecycling verdoppelt. Auch dies kann durch Subventionen oder durch eine erhöhte Nachfrage nach Sekundärmaterial erreicht werden. Diese erhöhte Nachfrage kann zum Beispiel durch einen Anstieg des Preises von Primärmaterial verursacht werden, etwa infolge reduzierter Rohstoffförderung.

5.5 Auswertung der Fallstudie

Abbildung 11 zeigt für den **Referenzfall** die Anzahl der Traktionsbatterierückläufer insgesamt und aus Fahrzeugen, der Anzahl der Batterien für das Recycling und die Umnutzung, sowie die Anzahl nachgefragter und angebotener Batterien. Die Gesamtanzahl an Rückläufern bezieht dabei auch die Batterien ein, die nach einer Umnutzung, beispielsweise als stationärer Stromspeicher, das Ende ihres zweiten Lebens erreicht haben. Es zeigt sich, dass die Anzahl rücklaufender Batterien aus Fahrzeugen von 2025 bis 2040 stark steigt (von ca. 60.000 auf 1,65 Millionen) und ab dann deutlich langsamer anwächst auf ca. 2 Millionen im Jahr 2050. Bezieht man die Rückläufer aus Zweitverwendungen ein, wächst die Zahl bis 2050 auf über 3 Millionen jährlich an. Bis 2040 ist dabei die Umnutzung der präferierte Verwertungsweg, danach überschreiten die Recyclingmengen die Umnutzungsmengen. Das ist zum einen darin begründet, dass im Referenzfall angenommen wird, dass die Recyclingkosten bis 2050 sinken und die Recyclingerlöse steigen und Recycling damit attraktiver wird. Zum anderen gibt es in späteren Jahren eine

5 Modellierung und Auswertung

5.5 Auswertung der Fallstudie

große Anzahl rücklaufender Batterien, die zuvor umgenutzt wurden und danach recycelt werden müssen.

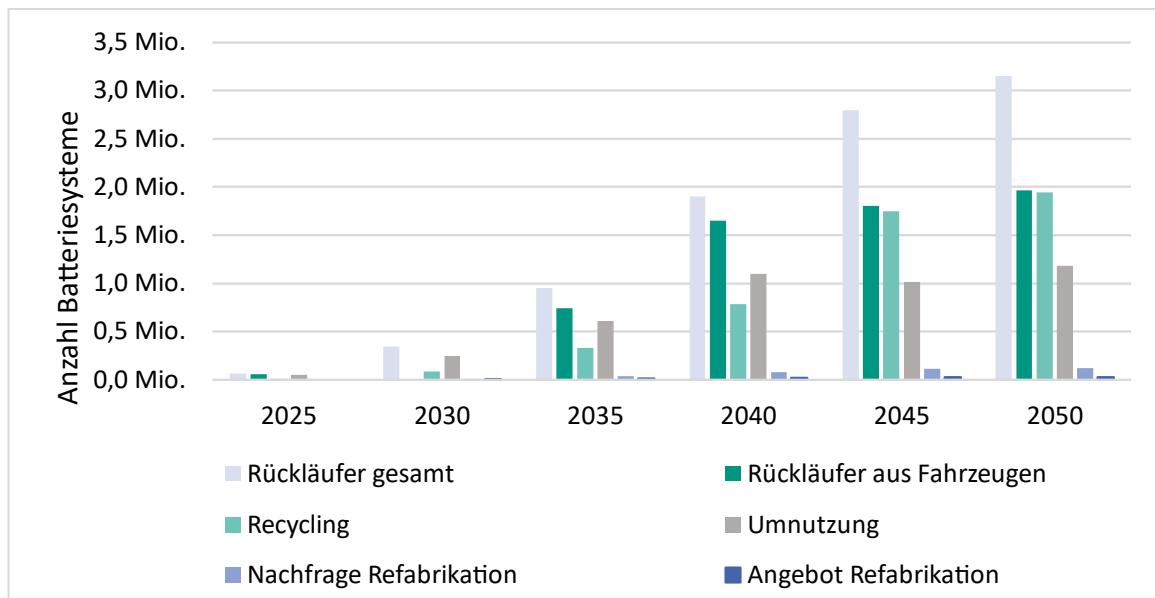


Abbildung 11: Ergebnisse für den Referenzfall

Die Refabrikation ist eine Nischenverwendung für einen geringen Anteil der Batterierückläufer. In jedem Betrachtungsjahr besteht Nachfrage nach refabrizierten Ersatzbatterien (z. B. ca. 12.000 Batterien in 2030 und ca. 120.000 Batterien in 2050), allerdings wird die Nachfrage im Referenzfall nie vollständig erfüllt. Das Angebot beträgt zwischen 5.000 Batterien in 2030 und ca. 30.000 Batterien ab 2045. Die Diskrepanz ist mit der Annahme im Modell zu begründen, dass Hersteller ihren Gewinn maximieren, indem sie das Angebot an refabrizierten Batterien und deren Preis daran orientieren, dass möglichst wenig Nachfrage nach neuen Ersatzbatterien kanibalisiert wird.

In Abbildung 12 ist dargestellt, wie sich die Kennzahlen aggregiert über alle Betrachtungsjahre in den in Abschnitt 5.4 erläuterten Szenarien ändern. Die Änderungen beziehen sich auf das in Abbildung 11 dargestellte Referenzszenario.

Im **Reparaturszenario** sinkt die Anzahl der Rückläufer und der recycelten und umgenutzten Batterien um ca. 25 %, was dadurch begründet ist, dass die Batterien eine längere Lebenserwartung haben und sich der von Fahrzeugen annähern. Dadurch werden die Fahrzeuge und Batterien länger genutzt und fallen innerhalb des betrachteten Zeitraums noch nicht als Rückläufer an. Rücklaufmengen werden also zeitlich nach hinten verschoben. Das Annähern von Batterie- und Fahrzeugglebensdauer führt außerdem dazu, dass weniger Ersatzbatterien benötigt werden, und damit auch die Nachfrage nach refabrizierten Ersatzbatterien sinkt (-35 %). Das Angebot sinkt in der Folge ebenfalls (-40 %).

In den Szenarien **Produktabfluss 20 %** und **Produktabfluss 80 %**, in denen statt 50 % im Referenzszenario 20 % bzw. 80 % der Fahrzeuge samt Batterie exportiert werden, ändern sich das Angebot und die Nachfrage nach refabrizierten Batterien proportional (+60 % bzw. -60 %). Die Anzahl rücklaufender Batterien und die Anzahl recycelter und umgenutzter Batterien erhöht bzw. reduziert sich weniger stark um ca. 40 %. Das ist darin begründet, dass im Simulationsmo-

dell angenommen wird, dass Exporte erst nach Ablauf der Garantie getätigt werden. Befindet sich ein Fahrzeug noch innerhalb der Batteriegarantiedauer, wenn ein Defekt eintritt, wird dieser vom Hersteller behoben. Außerdem wird die Batterie als Rückläufer erfasst und muss vom Hersteller recycelt oder umgenutzt werden.

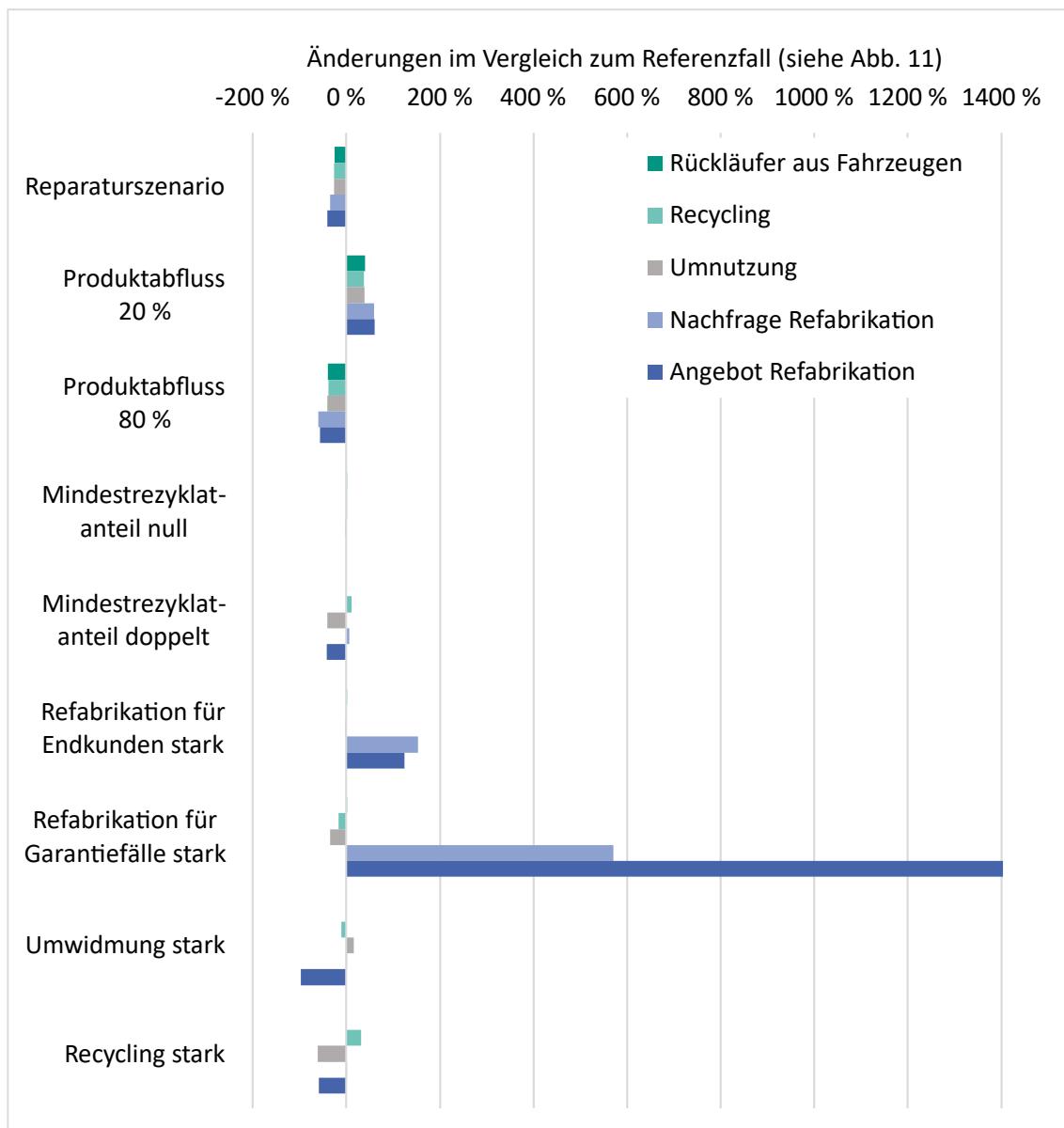


Abbildung 12: Szenarien im Vergleich zum Referenzfall (siehe Abbildung 11)

Der Fall **Mindestrezyklatanteil null** weist keine Abweichungen zum Referenzfall auf. Das heißt, dass die in der EU-Batterieverordnung vorgesehenen Mindestrezyklatanteile mit den Rohstoffen aus Batterien, die aus wirtschaftlichen Gründen auch ohne den verpflichtenden Einsatz von recyceltem Material recycelt würden, erreicht würden. Es findet also auch im Referenzfall kein vorzeitiges Recycling von Batterien statt, um recyceltes Material zu erhalten. Dies ist besonders deshalb hervorzuheben, weil auch im Referenzfall davon ausgegangen wird, dass 50 % der End-of-Life-Fahrzeuge samt Batterien aus den Systemgrenzen heraus exportiert werden, die Mindestrezyklatmengen aber für alle innerhalb der Systemgrenzen zugelassenen Fahrzeuge und Batterien eingehalten werden müssen. Im Szenario **Mindestrezyklatanteil doppelt** ist hingegen

5 Modellierung und Auswertung

5.5 Auswertung der Fallstudie

eine Verschiebung der Verwertungswege zu beobachten. Während die Anzahl rücklaufender Batterien aus Fahrzeugen konstant bleibt, erhöht sich die Menge recycelter Batterien im Betrachtungszeitraum um 11 %. Gleichzeitig verringern sich die Mengen umgenutzter und refabrierter Batterien um jeweils ca. 40 %. Bei höheren Mindestrezyklatanteilen, die etwa durch eine Anpassung der Zielwerte durch politische Akteure oder auch durch freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie zu erreichen wäre, würde das Recycling von Batterien erzwungen, um die Grenzwerte zu erreichen.

Wenn die **Refabrikation für Endkunden stark** gefördert wird, reagiert erwartungsgemäß die Nachfrage nach refabrizierten Batterien (+125 %). Das Angebot steigt mit ca. +150 % sogar etwas stärker, liegt in absoluten Zahlen aber weiterhin deutlich unter der Nachfrage. Aufgrund der geringen Refabrikationsmengen im Referenzszenario verglichen mit den anderen betrachteten Verwertungswegen, schlägt sich eine Angebotserhöhung kaum in den Mengen für das Recycling und die Umnutzung nieder. Anders verhält es sich, wenn Hersteller refabrizierte Batterien auch in Garantiefällen verwenden würden (Szenario **Refabrikation für Garantiefälle stark**). Die Nachfrage nach refabrizierten Batterien würde um ca. 570 % steigen, und das Angebot um ca. 1400 %. Der starke Anstieg des Angebots liegt darin begründet, dass die Hersteller auch als Refabrikateure fungieren und ihre eigene Nachfrage so weit es geht bedienen würden. Dennoch würden nur ca. zwei Drittel der Garantiefälle durch refabrizierte Batterien erfüllt. Eine Vierzehnfachung der Refabrikationsmengen würde sich auch in den Recycling- und Umnutzungsmengen niederschlagen. Es würden im Betrachtungszeitraum ca. 15 % weniger Batterien recycelt und ca. 35 % weniger umgenutzt.

Eine Erhöhung der Erlöse durch die Umwidmung im Szenario **Umwidmung stark** führt zu einem Anstieg der Umwidmungsmengen um ca. 15 %. Gleichzeitig sinkt die Recyclingmenge um ca. 11 % und die Refabrikation wird vollständig eingestellt (-100 %). Auf die Gesamtmenge von Batterierückläufern aus Fahrzeugen sind keine Auswirkungen zu beobachten, ebenso wenig wie im Fall **Recycling stark**. Sollten die Recyclingerlöse doppelt so hoch ausfallen wie im Referenzfall angenommen, würde eine Erhöhung der Recyclingmengen um ca. 31 % im Betrachtungszeitraum erwartet bei einer Reduktion der Umwidmungs- und Refabrikationsmengen um jeweils ca. 60 %.

6 Ableitung von Handlungsempfehlungen

Die zunehmende Verbreitung von Elektrofahrzeugen stellt Politik, Wirtschaft und Gesellschaft vor neue Herausforderungen hinsichtlich der nachhaltigen Nutzung und Entsorgung von Traktionsbatterien. Um eine effiziente Kreislaufwirtschaft zu gewährleisten und Umweltbelastungen zu minimieren, sind gezielte regulatorische Maßnahmen erforderlich. Die folgenden Handlungsempfehlungen zielen darauf ab, bestehende Defizite zu adressieren und den Umgang mit End-of-Life-Batterien strukturiert zu steuern.

6.1 Maßnahmen auf Landesebene

1. Aufklärung der Verbraucher über Batteriewechsel und Verantwortlichkeiten

Viele Verbraucher sind sich nicht bewusst, dass die Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen austauschbar sind. Hier ist es essenziell, gezielt Informationen bereitzustellen, die darüber aufklären, dass nach der Altfahrzeug-Richtlinie Batterien entnehm- und austauschbar sein müssen. Zusätzlich sollte transparent gemacht werden, welche Faktoren beim Austausch der Batterie oder der Wahl einer Ersatzbatterie eine Rolle spielen. Dabei sind Aspekte wie die technische Kompatibilität, Umweltstandards und die Wahl zwischen neuen und wiederaufbereiteten Batterien von Bedeutung.

Ein weiteres wichtiges Anliegen ist die Stärkung des Vertrauens der Verbraucher in den Markt für Second-Life- und wiederaufbereitete Batterien. Es besteht Unsicherheit, wer für eine wiederverwendete Batterie haftet und welche Rechte bei einem Defekt bestehen. Um diese Unsicherheiten zu beseitigen, sollte verstärkt über die Verantwortungsübergänge zwischen Herstellern, Händlern, Werkstätten und Endverbrauchern informiert werden. Klare Kommunikationsstrategien können dazu beitragen, dass sich mehr Fahrzeughalter für nachhaltige Ersatzlösungen entscheiden.

2. Schaffung eines wirtschaftlich attraktiven Marktes für wiederaufbereitete Batterien

Ein entscheidender Faktor für den Erfolg einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ist der Preis von wiederaufbereiteten Batterien im Vergleich zu neuen Produkten. Staatliche Maßnahmen auf Landesebene könnten darauf abzielen, die Kostenstruktur dieser Batterien positiv zu beeinflussen, um sie für Verbraucher attraktiver zu machen. Eine Möglichkeit wäre die Einführung von steuerlichen Vergünstigungen oder Subventionen für wiederaufbereitete Batterien, um deren Marktdurchdringung zu erhöhen.

3. Qualifikation und Marktüberwachung ausbauen

Um die nachhaltige Nutzung von Traktionsbatterien zu gewährleisten, muss auch das Wissen der beteiligten Akteure in der Industrie erweitert werden. Eine gezielte Schulung von Unternehmen zu technischen und rechtlichen Anforderungen der Batterieaufbereitung und -reparatur kann dazu beitragen, qualitativ hochwertige Dienstleistungen anzubieten. Bestehende Programme

6 Ableitung von Handlungsempfehlungen

6.2 Maßnahmen auf überregionaler und internationaler Ebene

wie *QualiBatt* sind hier ein erster Ansatz. Sie sollten weiterentwickelt und ausgebaut werden, um sicherzustellen, dass Werkstätten und Recyclingunternehmen die notwendigen Fachkenntnisse besitzen.

Neben der Weiterbildung spielt auch die Marktüberwachung eine zentrale Rolle. Der Staat muss sicherstellen, dass gesetzliche Vorgaben konsequent durchgesetzt werden. Dazu gehört eine verstärkte Kontrolle der Einhaltung von Umwelt- und Sicherheitsvorschriften im Bereich der Batterieentsorgung und -aufbereitung. Illegale Praktiken wie die unsachgemäße Entsorgung oder der Export von Altbatterien ohne umweltgerechte Verwertung sollten konsequent sanktioniert werden.

6.2 Maßnahmen auf überregionaler und internationaler Ebene

1. Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Batterien am Ende ihrer Lebensdauer

Ein zentrales Problem im Umgang mit End-of-Life-Traktionsbatterien ist die intransparente und teilweise unklare gesetzliche Einordnung von Batterien, die für eine Zweitnutzung bestimmt sind. Während für die Refabrikation teilweise bestehende Gesetze greifen, gibt es für die Umnutzung von Batterien kaum eindeutige Regelungen. Insbesondere bei Batterien, die zuvor als Abfall deklariert wurden, fehlen klare Vorgaben für den Übergang in eine erneute Produktnutzung. Hier sollte auf europäischer Ebene eine einheitliche Orientierung geschaffen werden (etwa FAQ oder Leitfaden), die Pflichten und Auslegungen bezüglich wiederaufbereiteter und umgenutzter Batterien klarstellt und auch gegebenenfalls auf die nationalen Hürden im Abfallrecht aufmerksam macht. Dies könnte die Geschäftsmodellentwicklung und die Investitionssicherheit für Unternehmen erleichtern und verbessern.

2. Einführung verbindlicher Standards und Produkttransparenz

Um den Markt für Second-Life-Batterien langfristig zu etablieren, bedarf es klarer technischer und sicherheitsrelevanter Standards. Diese sollten verbindlich festlegen, welche Mindestanforderungen eine wiederaufbereitete Batterie erfüllen muss, um in Verkehr gebracht werden zu dürfen. Eine Standardisierung könnte zudem helfen, die Wiederaufbereitungskosten zu senken und eine bessere Vergleichbarkeit der Produkte zu gewährleisten.

Ein weiteres Problem stellt die mangelnde Transparenz in der Lieferkette von Batterien dar. Während von Herstellern zunehmend erwartet wird, dass sie Recycling- und Nachhaltigkeitskriterien erfüllen, sind sie oft die einzigen Akteure in der Wertschöpfungskette, die einer Informationspflicht unterliegen. Die Anforderungen an die Zulieferer, auch innerhalb der EU, bleiben vage. Damit ist es fraglich, auf welcher Datengrundlage ein digitaler Produktpass basieren kann und wie der Zugang zu diesen Informationen sichergestellt wird.

3. Förderung der Reparierbarkeit von Batterien

Derzeit ist nicht eindeutig geregelt, welche Teile einer Batterie repariert oder ersetzt werden können müssen. Um den Lebenszyklus von Batterien zu verlängern, sollte eine klare Definition dessen erfolgen, was als reparaturfähig gilt. Insbesondere sollte spezifiziert werden, ob und unter welchen Bedingungen Batteriemodule oder einzelne Zellen ausgetauscht werden dürfen.

Eine solche Regelung könnte dazu beitragen, die Anzahl der Batterien, die frühzeitig als unbrauchbar deklariert werden, zu reduzieren.

4. Maßnahmen zur Verhinderung eines unkontrollierten Abflusses von Batterien

Damit Traktionsbatterien nicht unkontrolliert aus dem Markt abfließen, müssen gezielte Maßnahmen ergriffen werden, um ihren Verbleib im Wirtschaftskreislauf zu sichern. Eine Möglichkeit wäre eine verstärkte Information der Verbraucher über die Bedeutung einer ordnungsgemäßen Rückführung. Zusätzlich könnte ein Pfandsystem eingeführt werden, das den finanziellen Anreiz für eine sachgemäße Entsorgung erhöht.

6.3 Zusätzliche Empfehlungen im regulatorischen Kontext

Die Regelungen zu Batterien sind nun mit der Batterieverordnung umfassend aktualisiert und für einen Zeithorizont von ca. 10 Jahren ausgelegt. In Summe wird erst das Zusammenspiel mit dem Markt zeigen, wo gegebenenfalls noch nachjustiert werden muss.

Mit Blick auf Empfehlungen lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt sagen: Die Batterieverordnung bildet sicherlich das Kernstück der Regelungen für Batterien, sie erschöpfen sich aber nicht darin. Zudem sind die Regelungen der Batterieverordnung sehr umfassend und vor allem im Hinblick auf das Ende der ersten Lebensphase sehr komplex und teilweise unklar.

Daher sollte der Schwerpunkt momentan auf der Herstellung von Transparenz und der Beseitigung von ersten Unklarheiten liegen. Insbesondere in folgenden Bereichen sollten FAQ und Hilfsdokumente entwickelt werden.

1. Voraussetzungen / Verantwortung für die EOL-Tätigkeiten

Die Batterieverordnung enthält viele Sonderregelungen für die EOL-Tätigkeiten. Hilfsdokumente zur Klarstellung, welche Tätigkeiten an Batterien und/oder Altbatterien durchgeführt werden dürfen (und von wem), wären daher nützlich (bspw. bei Wiederaufbereitung). Weiterhin sollten die Voraussetzungen und die Folgepflichten auch im weiteren Rechtskontext klargestellt werden.

2. Zusammenspiel mit dem weiteren Abfallrecht

Die Schnittstelle zum Abfallrecht wird mitunter als intransparent wahrgenommen. Um etwa eine sichere Handhabung von Batterien am Ende ihrer Lebensdauer zu gewährleisten, sollten spezifische Vorgaben zur Notifizierung als gefährlicher Abfall überprüft und gegebenenfalls erweitert werden (Klassifikationen). Dies betrifft insbesondere Batterien, die kritische Materialien enthalten und besondere Anforderungen an die Entsorgung stellen. Bisher lassen sich die Mengenströme nur schlecht nachvollziehen.

Unabhängig davon sind weitere nationale Regelungen des Abfallrechts zu berücksichtigen, die auch das Ende der Abfalleigenschaft beeinflussen könnten. Auch hier wären Klarstellungen hilfreich.

3. Standardisierung und Durchsetzung

Einige Anforderungen und Bereiche in der Batterieverordnung bedürfen noch einer weiteren Standardisierung (etwa Demontage, sichere Handhabung), die entsprechend forciert werden sollte. Zudem wird auch der Marktvollzug insbesondere in der Anfangszeit gefragt sein, um etwa

6 Ableitung von Handlungsempfehlungen

6.3 Zusätzliche Empfehlungen im regulatorischen Kontext

bei der Erstellung von notwendigen Konzepten (bspw. Sammelstrukturen) nachzuhaken und diese einzufordern.

4. Anpassung der EU-Batterieverordnung an zukünftige Entwicklungen

Die derzeitige EU-Batterieverordnung legt Mindestrezyklat- und Verwertungsquoten nur für bestimmte Materialien fest. Sollte sich die Technologien und Materialzusammensetzungen künftiger Batterien ändern und beispielsweise neue kritische Materialien eingeführt werden (oder wegfallen), müssen die entsprechenden Vorgaben frühzeitig angepasst werden. Eine regelmäßige Überprüfung und flexible Anpassung der Quoten an neue technologische Entwicklungen ist daher dringend erforderlich.

Diese Maßnahmen bieten eine umfassende Grundlage, um die Herausforderungen im Umgang mit End-of-Life-Traktionsbatterien zu bewältigen. Durch eine Kombination aus Verbraucheraufklärung, regulatorischen Anpassungen und wirtschaftlichen Anreizen kann eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft für Traktionsbatterien geschaffen werden, die sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt.

7 Referenzen

- Abdul-Kader, W. & Haque, M. S. (2011). Sustainable tyre remanufacturing: an agent-based simulation modelling approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 4(4), 330–347. <https://doi.org/10.1080/19397038.2011.581392>
- ADAC. (2022, January 1). Elektroauto-Batterie: Lebensdauer, Garantie, Reparatur. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-batterie/>
- Ahuja, J., Dawson, L. & Lee, R. (2020). A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change. *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, 12(3), 235–250. <https://doi.org/10.1108/JPPEL-02-2020-0011>
- Akano, D. I., Ijomah, W. & Windmill, J. (2021). Stakeholder considerations in remanufacturability decision-making: Findings from a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126709. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126709>
- Alamalhodaei, A. (2021). Lucid Motors sees a second life for its EV batteries in energy storage. TechCrunch. <https://techcrunch.com/2021/03/17/lucid-motors-sees-a-second-life-for-its-ev-batteries-in-energy-storage/>
- Arnold, M., Palomäki, K., Le Blévennec, K., Koop, C., Geerken, T., Jensen, P., Colgan, S., & European Environment Agency - European Topic Centre on Waste and Materials. (2021). Contribution of remanufacturing to Circular Economy: Eionet Report—ETC/WMGE 2021/10. https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/contribution-of-remanufacturing-to-circular-economy/@/download/file/Remanufacturing_for%20website.pdf
- Audi. (2022). Zweites Leben für gebrauchte Batterien aus Elektroautos. Audi MediaCenter. <https://www.audi-mediacenter.com/de/pressemitteilungen/zweites-leben-fuer-gebrauchte-batterien-aus-elektroautos-15065>
- Autocraft Solutions Group. (2023, January 1). What is EV battery remanufacturing and why it matters. <https://autocraftsg.com/news/insights/what-is-ev-battery-remanufacturing-and-why-it-matters/>
- BATT4EU / BEPA. (2021). Strategic Research and Innovation Agenda. <https://bepassociation.eu/our-work/sria/>
- Batteries Europe. (2020). Batteries Europe: Strategic Research Agenda. <https://batterieseurope.eu/results/strategic-research-innovation-agenda/>
- Battery Pass EU. (2024). Unlocking the Value of the EU Battery Passport: An exploratory assessment of economic, environmental and social benefits. https://thebattery-pass.eu/assets/images/value-assessment/pdf/2024_BatteryPassport_Value_Assessment.pdf
- BMUV. (2024). Kreislaufwirtschaftsstrategie Deutschland - Fahrzeuge und Batterien, Mobilität. <https://www.kreislaufwirtschaft-deutschland.de/kreislaufwirtschaftsstrategie/handlungsfelder/fahrzeuge-batterienmobilitaet>
- BMW Group. (2023). Kompetenz in jeder Zelle: So fertigt die BMW Group ihre Batteriezellenmuster in Parsdorf.

- <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0437931DE/kompetenz-in-jeder-zelle:-so-fertigt-die-bmw-group-ihre-batteriezellenmuster-in-parsdorf?language=de>
BMW Group. (n.d.). Kreislaufwirtschaft—Nachhaltigkeitsstrategie. Retrieved 31 January 2025, from <https://bmw.maglr.com/nachhaltigkeit/kreislaufwirtschaft>
- Caranta, R. & Janssen, W. (Hrsg.). (2023). *Mandatory Sustainability Requirements in EU Public Procurement Law: Reflections on a Paradigm Shift* (1st ed.). Bloomsbury Professional; Bloomsbury Publishing (UK).
https://doi.org/10.5040/9781509963980?locatt=label:secondary_bloomsburyCollections
- Chirumalla, K., Reyes, L. G. & Toorajipour, R. (2022). Mapping a circular business opportunity in electric vehicle battery value chain: A multi-stakeholder framework to create a win–win–win situation. *Journal of Business Research*, 145, 569–582.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.02.070>
- Colledani, M., Copani, G., & Tolio, T. (2014). De-manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, 17, 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.04.075>
- Ding, Y., Cano, Z. P., Yu, A., Lu, J., & Chen, Z. (2019). Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives. *Electrochemical Energy Reviews*, 2(1), 1–28.
<https://doi.org/10.1007/s41918-018-0022-z>
- Eisenberger, M. (2024). Abfallende: a never ending story? Die Auswirkungen von EuGH 17. 11. 2022, C-238/21, Porr, auf das österr Abfallrecht und die VwGH-Judikatur. *RdU - Recht der Umwelt*(1 / 2024).
- Europäische Kommission. (2007). Verordnung (EG) Nr. 1418/2007 über die Ausfuhr von bestimmten in Anhang III oder IIIA der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates aufgeführten Abfällen, die zur Verwertung bestimmt sind, in bestimmte Staaten, für die der OECD-Beschluss über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen nicht gilt. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02007R1418-20220402>
- Europäische Kommission. (2018). EU action plan on batteries. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_3&format=PDF
- Europäische Kommission. (2020). Questions and Answers on Sustainable Batteries Regulation. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_2311
- Europäische Kommission. (2023). Der grüne Industrieplan. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan_de
- Europäisches Parlament und Rat. (2006). Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 über die Verbringung von Abfällen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02006R1013-20250101>
- Europäisches Parlament und Rat. (2023). Verordnung (EU) 2023/ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1542>
- Europäisches Parlament und Rat. (2024). Verordnung (EU) 2024/1157 über die Verbringung von Abfällen, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1257/2013 und (EU) 2020/1056 und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401157

- European Parliament and European Council. (2023). Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2023.191.01.0001.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2023%3A191%3ATOC
- Fraunhofer ISI. (2021). Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau. <https://impuls-stiftung.de/wp-content/uploads/2022/06/Recycling-von-Lithium-Ionen-Batterien.pdf>
- Freeman, R. E., Harrison, J. S., Wicks, A. C., Parmar, B. L. & Colle, S. de. (2010). Stakeholder theory: The state of the art (Fourth printing). Cambridge University Press.
- Gianvincenzi, M., Marconi, M., Mosconi, E. M., Favi, C. & Tola, F. (2024). Systematic Review of Battery Life Cycle Management: A Framework for European Regulation Compliance. Sustainability, 16(22), 10026. <https://doi.org/10.3390/su162210026>
- Hansen, S., Rüther, T., Mennenga, M., Helbig, C., Ohnemüller, G., Vysoudil, F., Wolf, C., Rosemann, B., Pavón, S., Michaelis, A., Vietor, T., Döpper, F., Herrmann, C. & Danzer, M. A. (2024). A structured approach for the compliance analysis of battery systems with regard to the new EU Battery Regulation. Resources, Conservation and Recycling, 209, 107752. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107752>
- Hess, S., & Palma, D. (2019). Apollo: A flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application. Journal of Choice Modelling, 32, 100170. <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2019.100170>
- Huster, S., Droll, M., & Schultmann, F. (2024). Refabrizierte Ersatzteile: Die Perspektive von Kfz-Werkstätten. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000169062>
- Huster, S., Heck, R., Rudi, A., Rosenberg, S., & Schultmann, F. (2025). [Preprint] Will electric vehicle battery reconditioning succeed? - A flexible simulation approach considering stakeholders' interests (5191019). SSRN.
- Huster, S., Rosenberg, S., Hufnagel, S., Rudi, A., & Schultmann, F. (2024). Do consumers want reconditioned electric vehicle batteries? – A discrete choice experiment. Sustainable Production and Consumption. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.027>
- Hyundai. (2024). Sustainability Report 2024. HYUNDAI MOTORS. <https://www.hyundai.com/worldwide/en/company/sustainability/sustainability-report>
- Johnson, C. A. & Khosravani, J. (2024). Greening the global battery chain? Critical reflections on the EU's 2023 battery regulations. The Extractive Industries and Society, 18, 101467. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101467>
- Kadner, S., Kobus, J., Hansen, E. G., Akinci, S., Elsner, P., Hagelüken, C., Jaeger-Erben, M., Kick, M., Kwade, A., Müller-Kirschbaum, T., Kühl, C., Obeth, D., Schweitzer, K., Stuchtey, M., Vahle, T., Weber, T., Wiedemann, P., Wilts, H. & Wittken, R. von. (2021). Circular Economy Roadmap für Deutschland. https://doi.org/10.48669/ceid_2021-3
- Kalverkamp, M. & Raabe, T. (2018). Automotive Remanufacturing in the Circular Economy in Europe. Journal of Macromarketing, 38(1), 112–130. <https://doi.org/10.1177/0276146717739066>

- Kampker, A., Heimes, H. H., Offermanns, C., Frank, M., Klohs, D. & Nguyen, K. (2023). Prediction of Battery Return Volumes for 3R: Remanufacturing, Reuse, and Recycling. *Energies*, 16(19), 6873. <https://doi.org/10.3390/en16196873>
- Kitazume, C., Kohlmeyer, R., & Oehme, I. (2020). Effectively tackling the issue of millions of vehicles with unknown whereabouts (Scientific Opinion Paper). Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/effectively-tackling-the-issue-of-millions-of>
- Klenk, F., Gallei, M., Wurster, M., Wagner, M., Peukert, S. & Lanza, G. (2022). Potential assessment of an increased exchange of core information for remanufacturing in automotive reverse supply chains. *Procedia CIRP*, 105, 446–451. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.074>
- Koenig, B. (2024). Redwood Materials Working With GM-LG Venture To Recycle Battery Scrap. <https://www.forbes.com/sites/billkoenig/2024/05/23/redwood-materials-working-with-gm-lg-venture-to-recycle-battery-scrap/>
- Lind, S., Olsson, D. & Sundin, E. (2014). Exploring inter-organizational relationships in automotive component remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/2210-4690-4-5>
- Lucid. (2023). 2023 Sustainability Report. <https://lucidmotors.com/media/document/Lucid-Group-Inc-2023-Sustainability-Report.pdf>
- Mercedes-Benz. (2023). Green Finance Framework. <https://group.mercedes-benz.com/dokumente/investoren/refinanzierung/rating/mercedes-benz-ir-greenfinanceframework.pdf>
- Mercedes-Benz. (n.d.). Kreislaufwirtschaft von Batteriesystemen—Der Kreis schließt sich. Mercedes-Benz Group. Retrieved 31 January 2025, from <https://group.mercedes-benz.com/nachhaltigkeit/ressourcen-kreislaufwirtschaft/recycling/batterie.html>
- NIO. (2022). Recycling. https://www.nio.com/de_DE/news/202210060005
- NIO. (2024). NIO Power Revolutionizes EV Mobility and Energy Storage in Europe. <https://www.nio.com/news/20240926001>
- Oguchi, M., & Fuse, M. (2015). Regional and longitudinal estimation of product lifespan distribution: A case study for automobiles and a simplified estimation method. *Environmental Science & Technology*, 49(3), 1738–1743. <https://doi.org/10.1021/es505245q>
- Olsson, L., Fallahi, S., Schnurr, M., Diener, D. & van Loon, P. (2018). Circular Business Models for Extended EV Battery Life. *Batteries*, 4(4), 57. <https://doi.org/10.3390/batteries4040057>
- Östlin, J., Sundin, E. & Björkman, M. (2008). Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 115(2), 336–348. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.02.020>
- Popowicz, M., Pohlmann, A., Schögl, J.-P. & Baumgartner, R. J. (2024). Circular and sustainable battery design – The case of digital product passports as information providers during the design phase. *Procedia CIRP*, 128, 502–507. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.03.031>
- Porsche. (2024). Wie aus gebrauchten Taycan-Batterien ein Energiespeicher für das Werk Leipzig wurde. Porsche Newsroom. <https://newsroom.porsche.com/de/2024/innovation/porsche-werk-leipzig-taycan-batterie-energiespeicher-37003.html>
- Prenner, S., Part, F., Jung-Waclik, S., Bordes, A., Leonhardt, R., Jandric, A., Schmidt, A. & Huber-Humer, M. (2024). Barriers and framework conditions for the market entry of second-life

- lithium-ion batteries from electric vehicles. *Heliyon*, 10(18), e37423. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37423>
- Renault Group. (2024). Integrated Report 2023-2024. <https://assets.renaultgroup.com/uploads/2024/10/2023-2024-integrated-report.pdf>
- Rizos, V. & Urban, P. (2024). Barriers and policy challenges in developing circularity approaches in the EU battery sector: An assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 209, 107800. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107800>
- Ruttloff, M., Wagner, E. & Misztl, M. (2023). Die neue europäische Batterieverordnung – ein Überblick. *ZfPC*, 54–58.
- Schaal, S. (2021, September 16). Hyundai arbeitet mit US-Unternehmen an Second-Life-Speichern—Electrive.net. <https://www.electrive.net/2021/09/16/hyundai-arbeitet-mit-us-unternehmen-an-second-life-speichern/>
- Seika, J. & Kubli, M. (2024). Repurpose or recycle? Simulating end-of-life scenarios for electric vehicle batteries under the EU battery regulation. *Sustainable Production and Consumption*, 51, 644–656. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.09.023>
- Shafique, M., Akbar, A., Rafiq, M., Azam, A., & Luo, X. (2023). Global material flow analysis of end-of-life of lithium nickel manganese cobalt oxide batteries from battery electric vehicles. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 41(2), 376–388. <https://doi.org/10.1177/0734242X221127175>
- Shanghai Metals Market. (2022). BYD sets up a new battery company to deal with waste battery recycling and sales. <https://news.metal.com/newscontent/101805851/byd-sets-up-a-new-battery-company-to-deal-with-waste-battery-recycling-and-sales>
- Sopha, B. M., Purnamasari, D. M. & Ma'mun, S. (2022). Barriers and Enablers of Circular Economy Implementation for Electric-Vehicle Batteries: From Systematic Literature Review to Conceptual Framework. *Sustainability*, 14(10), 6359. <https://doi.org/10.3390/su14106359>
- Stadlbauer, M. (2023). Innovation in der Recycling-Wirtschaft am Beispiel der Second-Life-Nutzung Öffentlich-rechtliche Aspekte und Rechtsfragen bei der Second-Life-Nutzung von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. *RdU - Recht der Umwelt*(4), 92–99.
- Stellantis. (2023). Corporate Social Responsibility Report 2023. <https://www.stellantis.com/content/dam/stellantis-corporate/sustainability/csr-disclosure/stellantis/2023/Stellantis-2023-CSR-Report.pdf>
- Stellantis. (2024, January 1). Circular Economy Business Unit von Stellantis mit starkem Wachstum 2023 – Trend wird sich 2024 voraussichtlich noch verstärken. <https://www.media.stellantis.com/de-de/corporate-communications/press/circular-economy-business-unit-von-stellantis-mit-starkem-wachstum-2023-trend-wird-sich-2024-voraussichtlich-noch-verstaerken>
- STP-Parts. (n.d.). Cores for a better life. <https://www.stp-parts.de/de/>
- Tesla. (2025). Batterie-Recycling. Tesla. https://www.tesla.com/de_de/support/sustainability-recycling
- Toyota. (n.d.). Toyota Revs Up Efforts for Battery 3R to Achieve Circular Economy. Toyota Motor Corporation Official Global Website. Retrieved 3 February 2025, from <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/40102076.html>

- Turunen, T. & Suikkanen, J. (2024). EU and Recycling of Critical Raw Materials: Stuck in Legal Limbo? *European Energy and Environmental Law Review*, 33(Issue 3), 139–149. <https://doi.org/10.54648/eelr2024009>
- Umweltbundesamt. (2024). Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib [Text]. Umweltbundesamt; Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehler-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib>
- UN Environment Programme. (2024). Used Vehicles and the Environment: Update and Progress 2024. <https://www.unep.org/resources/report/used-vehicles-and-environment-global-overview-used-light-duty-vehicles-flow-scale>
- Volkswagen. (2020). Zweites Leben für gebrauchte Akkus. <https://www.volkswagen.ch/de/entdecken-und-erleben/volkswagen-magazin/nachhaltigkeit/zweites-leben-für-gebrauchte-akkus.html>
- Volkswagen. (2025). Rohstoff-Recycling. <https://www.volkswagen.de/de/elektrofahrzeuge/nachhaltigkeit/recycling-rohstoffe.html>
- Wrålsen, B., Prieto-Sandoval, V., Mejia-Villa, A., O'Born, R., Hellström, M. & Faessler, B. (2021). Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128393>
- Xu, C., Dai, Q., Gaines, L., Hu, M., Tukker, A., & Steubing, B. (2020). Future material demand for automotive lithium-based batteries. *Communications Materials*, 1(1). <https://doi.org/10.1038/s43246-020-00095-x>
- Zhang, Y., & Yang, Y. (2023). Study on the Profit Model of Power Battery Enterprises. *SHS Web of Conferences*, 158, 01024. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202315801024>
- Zhou, H., Yang, Y., Li, W., McKechnie, J., Thiede, S. & Wang, P. (2024). EU's recycled content targets of lithium-ion batteries are likely to compromise critical metal circularity. *One Earth*, 7(7), 1288–1300. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.06.017>

Weitere verwendete Ressourcen:

- European Battery Alliance: <https://www.eba250.com/>
- Battery 2030: <https://battery2030.eu/>
- Batteries Europe: <https://batterieseurope.eu/>
- Albatts: <https://www.project-albatts.eu/en/aboutus>
- European Innovation Council - Innovative Batteries for eVehicle: <https://eic.ec.europa.eu/eic-prizes/>
- Global Battery Alliance: <https://www.globalbattery.org>

Anhang

Tabelle 9: Inputparameter des Simulationsmodells inkl. Beschreibung

Eingabeparameter	Einheit	Beschreibung
Garantiezeit	[Jahre]	Anzahl der Jahre, in denen der OEM die Funktion der ersten EV-Batterie garantiert
Minimale Restlebensdauer des Fahrzeugs für Batteriewechsel	[Jahre]	Minimale verbleibende Lebensdauer des Fahrzeugs (ohne die Batterie) als Qualitätsmaßnahme
Durchschnittliche Fahrzeuglebensdauer	[Jahre]	Weibull-verteilte Lebensdauererwartung von Fahrzeugen (ohne Berücksichtigung der Batterie)
Durchschnittliche Batterielebensdauer (NCx-Kathoden)	[Jahre]	Weibull-verteilte Lebensdauererwartung von NCA- und NMC-Kathodenbatterien
Durchschnittliche Batterielebensdauer (LFP-Kathoden, Weibull-verteilt)	[Jahre]	Weibull-verteilte Lebensdauererwartung von LFP-Kathodenbatterien
Durchschnittliche Batterielebensdauer (Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Kathoden, Weibull-verteilt)	[Jahre]	Weibull-verteilte Lebensdauererwartung von (Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien
Minimale Nutzungsdauer wiederverwendeter Batterien	[Jahre]	Untere Grenze der gleichmäßig verteilten Wiederverwendungsdauer
Maximale Nutzungsdauer wiederverwendeter Batterien	[Jahre]	Obere Grenze der gleichmäßig verteilten Wiederverwendungsdauer
Anteil der Produktionsabfälle	[Prozent]	Anteil der Zellproduktionsabfälle, die sofort recycelt werden
Anteil der irreparabel beschädigten EoL-Batterien	[Prozent]	Anteil der EoL-Batterien, die aufgrund von Schäden nicht für eine Zweitnutzung in Betracht kommen
Anteil der EoL-Batterien, die nur für Wiederverwendung geeignet sind	[Prozent]	Anteil der EoL-Batterien mittlerer Qualität, die für Wiederverwendung geeignet sind, aber nicht für Wiederaufbereitung
Anteil der Ausschusszellen bei der Batterieüberarbeitung	[Prozent]	Anteil der Zellen, die bei der Wiederverwendung oder Wiederaufbereitung aufgrund unzureichender Leistung aussortiert werden
Lebensdauerverlust wieder aufbereiteter Batterien im Vergleich zu neuen	[Jahre]	Beschreibt, wie viele Jahre eine wiederaufbereitete Batterie im Durchschnitt kürzer hält als eine neue
Einsparung von Treibhausgasen durch wiederaufbereitete	[Prozent]	Beschreibt, wie viel weniger Treibhausgase eine wiederaufbereitete Batterie im Vergleich zu

Batterien im Vergleich zu neuen		einer neuen Batterie verursacht
Berücksichtigung der Kundenpräferenzen	[1, 2, 3, 4]	Diskrete Wahl zur Berücksichtigung der Kundenpräferenzen
Maximale Speicherkapazität wiederaufbereiteter Batterien (pro Kathodentyp)	[Jahre]	Maximale Anzahl wiederaufbereiteter Batterien, die gespeichert werden, um Angebots- und Nachfrageschwankungen auszugleichen
Kathoden-Einführungsszenario	[1, 2, 3]	Beschreibt, wie sich die Anteile der verschiedenen Kathodentechnologien über die Jahre entwickeln
Lagerdauer recycelter Materialien (Lithium, Nickel, Kobalt)	[Jahre]	Maximale Lagerdauer von recyceltem Lithium, Nickel und Kobalt für neue Zellproduktion
Berücksichtigung recycelter Materialanteile gemäß EU-Batterieverordnung	[ja/nein]	Legt fest, ob die EU-Batterieregulierung für recycelte Materialien berücksichtigt wird
Zeitpunkt, ab dem eine Batteriewiederaufbereitung möglich ist	[Jahre]	Zeitpunkt, ab dem Wiederaufbereitung als technisch machbar betrachtet wird
Wahrscheinlichkeit, dass eine Werkstatt wiederaufbereitete Ersatzteile anbietet	[Prozent]	Anteil der Werkstätten, die wiederaufbereitete Ersatzbatterien anbieten
Verwendung wiederaufbereiteter Batterien während der OEM-Garantie, falls wirtschaftlich sinnvoll	[ja/nein]	Legt fest, ob der OEM während der Garantiezeit wiederaufbereitete Batterien verwenden kann, wenn es wirtschaftlich vorteilhaft ist
BEV-Verkäufe 2015	-	Anzahl der BEVs, die in 2015 verkauft wurden
BEV-Verkäufe 2020	-	Anzahl der BEVs, die in 2020 verkauft wurden
BEV-Verkäufe 2025	-	Anzahl der BEVs, die in 2025 verkauft werden sollen
BEV-Verkäufe 2030	-	Anzahl der BEVs, die in 2030 verkauft werden sollen
BEV-Verkäufe 2035	-	Anzahl der BEVs, die in 2035 verkauft werden sollen
BEV-Verkäufe 2040	-	Anzahl der BEVs, die in 2040 verkauft werden sollen
BEV-Verkäufe 2045	-	Anzahl der BEVs, die in 2045 verkauft werden sollen
BEV-Verkäufe 2050	[Prozent]	Anzahl der BEVs, die in 2050 verkauft werden sollen
Recyclingmarge 2023 in Prozent des Neupreises pro kWh (hohe Kobalt-Kathoden)	[Prozent]	Erlöse aus dem Verkauf recycelter Materialien abzüglich der Recyclingkosten für Hochkobalt-Batterien (NCA, NMC111, NMC532, NMC622) im Jahr 2023. Ausgedrückt in Prozent des

		Neupreises.
Recyclingmarge 2050 in Prozent des Neupreises pro kWh (hohe Kobalt-Kathoden)	[Prozent]	Erlöse aus dem Verkauf recycelter Materialien abzüglich der Recyclingkosten für Hochkobalt-Batterien (NCA, NMC111, NMC532, NMC622) im Jahr 2050. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Recyclingmarge 2023 in Prozent des Neupreises pro kWh (niedrige Kobalt-Kathoden)	[Prozent]	Erlöse aus dem Verkauf recycelter Materialien abzüglich der Recyclingkosten für Niedrigkobalt-Batterien (NMC811, NMC955, LFP) im Jahr 2023. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Recyclingmarge 2050 in Prozent des Neupreises pro kWh (niedrige Kobalt-Kathoden)	[Prozent]	Erlöse aus dem Verkauf recycelter Materialien abzüglich der Recyclingkosten für Niedrigkobalt-Batterien (NMC811, NMC955, LFP) im Jahr 2050. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Recyclingmarge 2023 in Prozent des Neupreises pro kWh (Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Kathoden)	[Prozent]	Erlöse aus dem Verkauf recycelter Materialien abzüglich der Recyclingkosten für Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien im Jahr 2023. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Recyclingmarge 2050 in Prozent des Neupreises pro kWh (Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Kathoden)	[Prozent]	Erlöse aus dem Verkauf recycelter Materialien abzüglich der Recyclingkosten für Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien im Jahr 2050. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Kosten für Wiederaufbereitung 2023 in Prozent des Neupreises pro kWh	[Prozent]	Kosten für die Wiederaufbereitung von Batterien im Jahr 2023. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Kosten für Wiederaufbereitung 2050 in Prozent des Neupreises pro kWh	[Prozent]	Kosten für die Wiederaufbereitung von Batterien im Jahr 2050. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Second-Life-Marge 2023 in Prozent des Neupreises pro kWh	[Prozent]	Erlöse aus wiederverwendeten Batterien abzüglich der Wiederverwendungskosten im Jahr 2023. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Second-Life-Marge 2050 in Prozent des Neupreises pro kWh	[Prozent]	Erlöse aus wiederverwendeten Batterien abzüglich der Wiederverwendungskosten im Jahr 2050. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Marge für den Verkauf neuer Batterien in Prozent des Neupreises	[Prozent]	Erlöse aus dem Verkauf einer Batterie abzüglich der Herstellungskosten. Ausgedrückt in Prozent des Neupreises.
Anteil kleiner Fahrzeuge	[Prozent]	Anteil der Fahrzeuge mit einer Batteriekapazität von 50 kWh.
Anteil mittelgroßer Fahrzeuge	[Prozent]	Anteil der Fahrzeuge mit einer Batteriekapazität von 75 kWh. Der Anteil der großen Fahrzeuge (Batteriekapazität: 100 kWh) wird entsprechend dem Anteil kleiner und mittlerer Fahrzeuge auf 100 % summiert.

Mindestanteil recycelten Kobalts in neuen Batterien 2031	[Prozent]	Die EU-Batterieverordnung schreibt ab August 2031 einen Mindestanteil von 16 % recyceltem Kobalt vor. Mit diesem Parameter können diese 16 % oder ein individueller Zielwert festgelegt werden.
Mindestanteil recycelten Kobalts in neuen Batterien 2036	[Prozent]	Die EU-Batterieverordnung schreibt ab August 2036 einen Mindestanteil von 26 % recyceltem Kobalt vor. Mit diesem Parameter können diese 26 % oder ein individueller Zielwert festgelegt werden.
Mindestanteil recycelten Lithiums in neuen Batterien 2031	[Prozent]	Die EU-Batterieverordnung schreibt ab August 2031 einen Mindestanteil von 6 % recyceltem Lithium vor. Mit diesem Parameter können diese 6 % oder ein individueller Zielwert festgelegt werden.
Mindestanteil recycelten Lithiums in neuen Batterien 2036	[Prozent]	Die EU-Batterieverordnung schreibt ab August 2036 einen Mindestanteil von 12 % recyceltem Lithium vor. Mit diesem Parameter können diese 12 % oder ein individueller Zielwert festgelegt werden.
Mindestanteil recycelten Nickels in neuen Batterien 2031	[Prozent]	Die EU-Batterieverordnung schreibt ab August 2031 einen Mindestanteil von 6 % recyceltem Nickel vor. Mit diesem Parameter können diese 6 % oder ein individueller Zielwert festgelegt werden.
Mindestanteil recycelten Nickels in neuen Batterien 2036	[Prozent]	Die EU-Batterieverordnung schreibt ab August 2036 einen Mindestanteil von 15 % recyceltem Nickel vor. Mit diesem Parameter können diese 15 % oder ein individueller Zielwert festgelegt werden.

Working Paper Series in Production and Energy

recent issues

- Nr. 74** Katharina Eberhardt, Amelie Schwärzel, Sonja Rosenberg, Frank Schultmann: Vergleichende Analyse der staatlichen Notfallbevorratung von Lebensmitteln: Strategien und Herausforderungen in Deutschland, der Schweiz und Finnland
- Nr. 73** Sandra Huster, Manuel Droll, Frank Schultmann: Refabrizierte Ersatzteile: Die Perspektive von Kfz-Werkstätten
- No. 72** Uwe Langenmayr, Manuel Ruppert: Calculation of Synthetic Energy Carrier Production Costs with high Temporal and Geographical Resolution
- No. 71** Daniel Fett, Christoph Fraunholz, Malin Lange: Provision of Frequency Containment Reserve from Residential Battery Storage Systems - A German Case Study
- No. 70** Erik Jansen, Julia Schuler, Armin Ardone, Viktor Slednev, Wolf Fichtner and Marc E. Pfetsch: Global Logistics of an Iron-based Energy Network: A Case Study of Retrofitting German Coal Power Plants
- No. 69** Christian Will, Florian Zimmermann, Axel Ensslen, Christoph Fraunholz, Patrick Jochem, Dogan Keles: Can electric vehicle charging be carbon neutral? Uniting smart charging and renewables
- No. 68** Anthony Britto, Emil Kraft, Joris Dehler-Holland: Steelmaking Technology and Energy Prices: The Case of Germany
- No. 67** Anthony Britto, Joris Dehler-Holland, Wolf Fichtner: Wealth, Consumption, and Energy-Efficiency Investments
- No. 66** Martin Hain, Tobias Kargus, Hans Schermeyer, Marliese Uhrig-Homburg, Wolf Fichtner: An Electricity Price Modeling Framework for Renewable-Dominant Markets
- No. 65** Martin Klarmann, Robin Pade, Wolf Fichtner, Nico Lehmann: Energy Behavior in Karlsruhe and Germany
- No. 64** Florian Zimmermann, Dogan Keles: State or Market: Investments in New Nuclear Power Plants in France and Their Domestic and Crossborder Effects
- No. 63** Paul Heinzmann, Simon Glöser-Chahoud, Nicolaus Dahmen, Uwe Langenmayr, Frank Schultmann: Techno-ökonomische Bewertung der Produktion regenerativer synthetischer Kraftstoffe
- No. 62** Christoph Fraunholz, Kim K. Miskiw, Emil Kraft, Wolf Fichtner, Christoph Weber: On the Role of Risk Aversion and Market Design in Capacity Expansion Planning
- No. 61** Zoe Mayer, Rebekka Volk, Frank Schultmann: Evaluation of Building Analysis Approaches as a Basis for the Energy Improvement of City Districts

The responsibility for the contents of the working papers rests with the author, not the institute. Since working papers are of preliminary nature, it may be useful to contact the author of a particular working paper about results or caveats before referring to, or quoting, a paper. Any comments on working papers should be sent directly to the author.

Impressum

Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU)

Hertzstr. 16
D-76187 Karlsruhe

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

Working Paper Series in Production and Energy
No. 75, März 2025

ISSN 2196-7296

www.iip.kit.edu

www.kit.edu