



Januar 2026

# Lebenszyklus von Traktionsbatterien aus Elektrofahrzeugen

## Roadmap Elektromobilität 2025

Bundesamt für Energie  
Sektion Mobilität  
Pulverstrasse 13  
CH-3063 Ittigen

Die Roadmap Elektromobilität ist eine Plattform, die Wirtschaft, Forschung und öffentliche Hand in der Schweiz vernetzt, um gemeinsam die Elektrifizierung des Verkehrs voranzutreiben. Sie wurde vom UVEK initiiert und wird vom Bundesamt für Energie (BFE) und Bundesamt für Strassen (ASTRA) koordiniert.

Im Rahmen der Roadmap hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) den Leuchtturm-Workshop «Kreislaufwirtschaft von Traktionsbatterien» organisiert. Die Teilnehmenden (siehe nachfolgende Tabelle) haben das vorliegende Paper gemeinsam erarbeitet.

**Tabelle 1: Teilnehmende des Leuchtturm-Workshops «Kreislaufwirtschaft von Traktionsbatterien»**

Unternehmen, Organisation	Vorname und Name
AMAG Import AG	Tobias Lukas
Auto Gewerbe Verband Schweiz AGVS	Markus Peter
auto-schweiz	Thomas Rücker
Batrec Industrie AG	Philipp Rädecker
Batrec Industrie AG	Philippe Zanettin
Bundesamt für Umwelt	Isabel Junker
Bundesamt für Umwelt	Corinne Spillmann
Swiss Battery Technology Center, iBAT	Christian Ochsenbein
EMPA	Andrin Büchel
EMPA	Nora Bartolomé
ESM Foundation	Alessandra Hool
Gesellschaft für bedrohte Völker	Silvia Schönenberger
Geschäftsstelle Roadmap Elektromobilität	Jürgen Schulz
Inobat	Peter Schär
Libattion	Bertrand Schutz
SENS eRecycling	Christian Bollinger
Stiftung Auto Recycling Schweiz	Daniel Christen
TCS	Martin Bolliger
Thommen Group	Fabian Reissler
Renault Trucks	René Krieger
Electrosuisse	Claudio Pfister
BloqSens AG	Peter Krummenacher

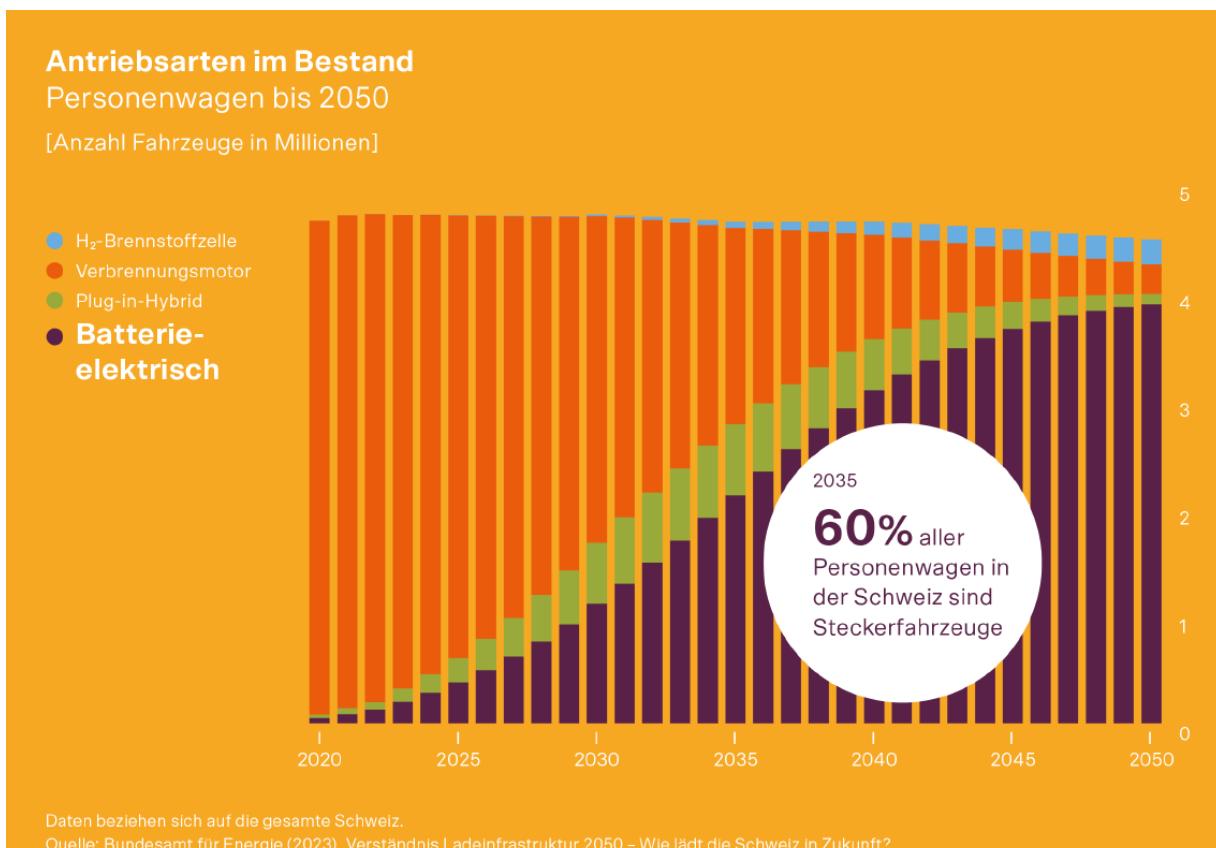
# Inhaltsverzeichnis

1.	<b>Einleitung .....</b>	4
2.	<b>Die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft für Traktionsbatterien .....</b>	6
2.1	Rohstoffe für Traktionsbatterien: ein kritisches Gut.....	6
2.2	Umweltvorteile der Kreislaufwirtschaft .....	7
2.3	Wirtschaftliche Chancen.....	9
3.	<b>Produktion – Herstellung von Traktionsbatterien.....</b>	12
4.	<b>Nutzung – Die Lebensdauer einer Traktionsbatterie im Elektrofahrzeug.....</b>	14
5.	<b>Sammlung und Rücknahme von Altbatterien – Die Verantwortung am Lebensende.....</b>	15
5.1	Logistische Herausforderungen.....	15
6.	<b>Wiederverwendung und Recycling – Die Kreislaufwirtschaft in der Praxis .....</b>	16
6.1	Wiederverwendung .....	17
6.2	Recycling.....	18
7.	<b>Fazit.....</b>	20
8.	<b>Anhang: Glossar.....</b>	21

# 1. Einleitung

Die Elektromobilität hat in den letzten Jahren einen starken Aufschwung erlebt. Laut einer Studie des Bundesamts für Energie BFE ist in Zukunft mit einem deutlichen Anstieg der Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen und einem Rückgang bei Personenwagen mit Verbrennungsmotor zu rechnen (siehe Abbildung 1 1).

Abbildung 1-1: Anzahl neuzugelassene Personenwagen nach Antriebsart<sup>1</sup>



Trotz dieser positiven Entwicklung wird Elektromobilität häufig kritisiert – insbesondere im Hinblick auf die energieintensive Produktion der Batterien sowie die damit verbundenen Umweltauswirkungen. Auch das Recycling der gebrauchten Batterien wird oft als Herausforderung genannt.

Dieses Paper zeigt, dass eine Kreislaufwirtschaft für Traktionsbatterien möglich und sinnvoll ist. Im Mittelpunkt stehen Lithium-Ionen-Batterien, die derzeit den Markt prägen. Auf einen direkten Vergleich mit Verbrennungsmotoren wird bewusst verzichtet; eine Infobox in Kapitel 2.2 bietet einen Überblick über relevante Aspekte.

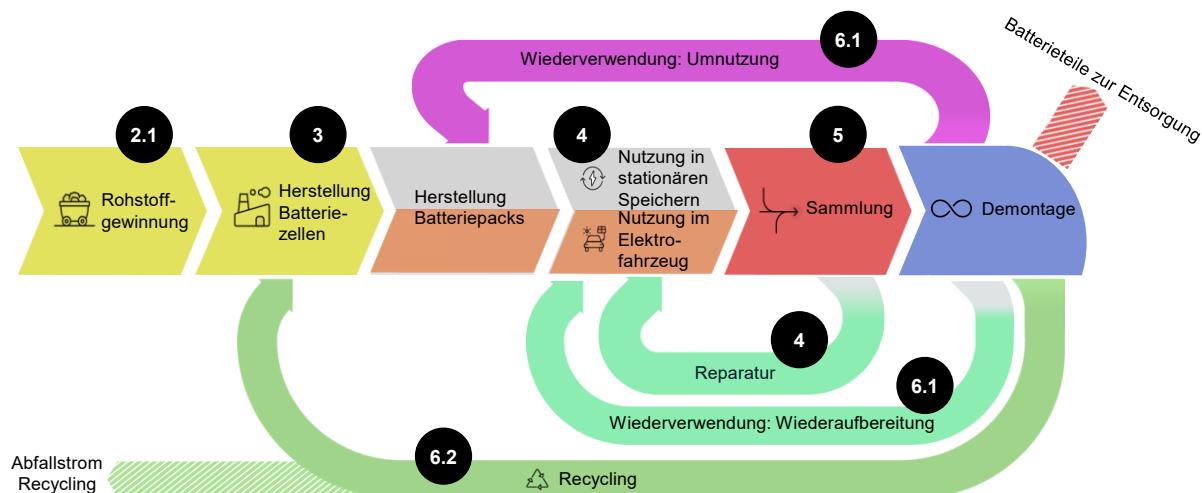
Traktionsbatterien enthalten aktuell wertvolle und strategisch wichtige Materialien. Eine effiziente und verantwortungsvolle Nutzung sowie das Recycling dieser Rohstoffe bieten grosse Chancen, die Umweltbilanz der Elektromobilität weiter zu verbessern.

Die Etablierung Kreislaufwirtschaft für Traktionsbatterien stellt nicht nur eine organisatorische und technische Herausforderung dar, sondern auch eine Chance, die Elektromobilität auf eine nachhaltige und zukunftsfähige Grundlage zu stellen.

<sup>1</sup> Bundesamt für Energie (2023), Verständnis Ladeinfrastruktur 2050 – Wie lädt die Schweiz in Zukunft?

Die Struktur des Papers folgt den Phasen der Kreislaufwirtschaft (siehe Abbildung 1-2) und erläutert die wichtigsten Schritte entlang des Lebenszyklus einer Batterie – von der Rohstoffgewinnung über das Design und die Produktion bis hin zur Nutzung, Sammlung und schliesslich der Wiederverwendung oder dem Recycling. Die Nummern in der Abbildung verweisen auf die Kapitel des vorliegenden Papers.

**Abbildung 1** Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument. -2: **Kreislaufwirtschaft von Traktionsbatterien**<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Persönliche Mitteilung des CircuBAT Projektteams: <https://circubat.ch/> (04.11.2025)

## 2. Die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft für Traktionsbatterien

Traktionsbatterien spielen eine zentrale Rolle für die Elektromobilität und Energiewende. Für ihre Produktion werden Rohstoffe benötigt, deren Verfügbarkeit begrenzt und teilweise risikobehaftet ist (siehe Ziffer 2.1) und deren Abbau häufig negative Umweltfolgen hat. Europa und die Schweiz sind stark von Importen abhängig, was die Versorgungssicherheit gefährden kann.

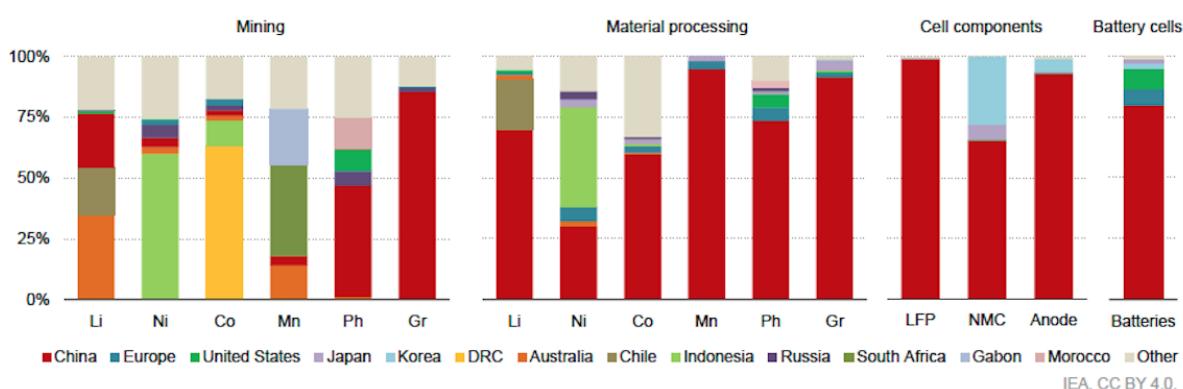
Vor diesem Hintergrund ist die Kreislaufwirtschaft eine wichtige Strategie zur langfristigen Sicherung dieser Rohstoffe. Sie reduziert die Abhängigkeit von Primärrohstoffen, verringert Umweltbelastungen (siehe Ziffer 2.2) und schafft Chancen für neue Geschäftsmodelle sowie eine nachhaltigere, resilenter Wirtschaft (siehe Ziffer 2.3).

### 2.1 Rohstoffe für Traktionsbatterien: ein kritisches Gut

Lithium-Ionen-Batterien, die in Elektrofahrzeugen eingesetzt werden, benötigen neben Lithium auch weitere kritische Rohstoffe (siehe Infobox auf Seite 7) wie Graphit, Kupfer, Aluminium und je nach Zellchemie Kobalt und Nickel. Aufgrund der weltweit rasch wachsenden Anzahl an elektrischen Fahrzeugen wird prognostiziert, dass sich der Bedarf an Lithium bis 2030 etwa vervierfachen könnte.<sup>3</sup>

Batterierohstoffe werden weltweit in verschiedenen Regionen abgebaut und verarbeitet (siehe auch Abbildung 2-1), wobei die Verarbeitung häufig in wenigen Ländern konzentriert ist. So erfolgt der Abbau von Kobalt vor allem in der Demokratischen Republik Kongo, Nickel hauptsächlich in Indonesien, Graphit in China und Lithium vorwiegend in Australien sowie im sogenannten «Lithium-Dreieck» (Argentinien, Bolivien, Chile). Trotz dieser globalen Verteilung findet die Weiterverarbeitung der meisten dieser Rohstoffe überwiegend in China statt, wo auch ein Grossteil der Batteriezellenproduktion angesiedelt ist.<sup>4</sup> Diese Konzentration führt zu einer starken Abhängigkeit und birgt Risiken in Bezug auf Lieferketten und geopolitische Spannungen.

Abbildung 2-1: Produzierende Länder der Rohstoffe und Komponenten in der Batterielieferkette<sup>5</sup>



Die Schweiz importiert Batterierohstoffe meist als bereits fertige Batterien oder als Halbfabrikate, etwa als Batteriezellen; häufig aus der EU. Dabei besteht ein grosses Klumpenrisiko in den vorgelagerten Schritten der Wertschöpfungskette, da China ab dem ersten Verarbeitungsschritt der Rohstoffe eine marktbeherrschende Stellung einnimmt.

Um die Versorgung mit Batterien langfristig zu sichern und die Abhängigkeit von einzelnen Ländern zu verringern, werden weltweit verschiedene Initiativen verfolgt. In den USA beispielsweise werden Unternehmen, die Rohstoffe aus dem Inland oder von verbündeten Staaten beziehen, durch Steuergutschriften

<sup>3</sup> Carbon Credits (2024), Lithium is Driving the EV Boom: Demand to Quadruple by 2030 : <https://carboncredits.com/lithium-is-driving-the-ev-boom-demand-to-quadruple-by-2030/> (20.08.2025)

<sup>4</sup> Siehe auch Bundesamt für Energie (2023), Batterien für Elektrofahrzeuge: <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/77015.pdf>.

<sup>5</sup> International Energy Agency (iea), Global Critical Minerals Outlook 2025 (2025): [Global Critical Minerals Outlook 2025](https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025) (18.08.2025).

gefördert. Auch in Europa soll der lokale Abbau und die Verarbeitung von kritischen Rohstoffen durch gesetzliche Zielvorgaben gestärkt werden. Die Kreislaufwirtschaft (siehe Ziffer 2.2) spielt auch hier eine entscheidende Rolle, indem durch Recycling mehr Rohstoffe zur Verfügung gestellt und durch eine Verlängerung der Produktlebensdauer der Bedarf an neuen Rohstoffen reduziert wird.

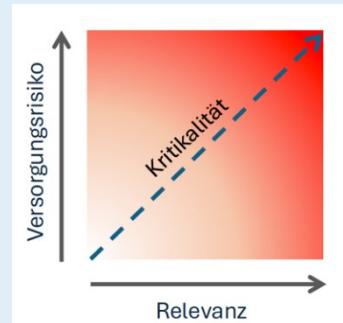
#### Infobox: Was sind kritische Rohstoffe?

Rohstoffkritikalität bewertet die wirtschaftliche und technische Bedeutung eines Materials (Relevanz) sowie das Risiko von Versorgungsunterbrechungen für eine bestimmte Interessengruppe in einem definierten Zeitraum (Versorgungsrisiko). Solche Bewertungen sind zentral für Industrie und Politik, etwa bei der Materialwahl, der Produkt- und Prozessgestaltung oder bei Massnahmen zur besseren Nachvollziehbarkeit in Lieferketten.

Viele Länder führen Kritikalitätsanalysen für ihren Wirtschaftsraum durch. In der Schweiz fehlt eine solche Analyse bisher. Batterierohstoffe wie Lithium, Nickel oder Graphit gelten allgemein als kritisch, da ihre Nachfrage stark steigt und ihre Förderung geografisch konzentriert ist.

Da die Schweiz viele Rohstoffe und daraus hergestellte Halbfabrikate aus der EU bezieht, unterliegt sie indirekt deren Versorgungsrisiken und orientiert sich meist an der EU-Klassifizierung kritischer Rohstoffe.

Abbildung 2-2: Kritikalitätsmatrix<sup>6</sup>



## 2.2 Umweltvorteile der Kreislaufwirtschaft

In der Kreislaufwirtschaft werden Produkte und Materialien per Definition möglichst lange im Umlauf gehalten. Dabei werden alle Phasen eines Produkts berücksichtigt: von der Rohstoffgewinnung über das Design, die Produktion und die Nutzung bis hin zum Recycling. Ziel ist es, Rohstoffe und Produkte effizient und möglichst lange zu nutzen, bevor sie recycelt werden. Im Unterschied zur linearen Wirtschaft, bei der Produkte nach dem Konsum weggeworfen werden, trägt dieses Modell dazu bei, den Rohstoffabbau zu reduzieren, die Umweltbelastung zu senken und Abfallmengen zu verringern.<sup>7</sup>

Viele der wichtigsten Materialien, die in Traktionsbatterien verwendet werden, sind nur begrenzt verfügbar. Um der Abhängigkeit von diesen begrenzten Rohstoffen entgegenzuwirken und die Ressourcen nachhaltig zu nutzen, bietet die Kreislaufwirtschaft eine vielversprechende Lösung. Durch effektives Recycling können Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gesenkt werden. Der Ansatz geht über Recycling hinaus und umfasst auch Abfallvermeidung und Ressourcenschonung. Innovationen im Design erleichtern Reparatur, Recycling und Wiederverwendung von Produkten. Die Lebensdauer von Batterien kann verlängert werden (siehe Ziffer 4), und bereits in der Entwurfsphase sollte die Möglichkeit zur Rückgewinnung der enthaltenen Materialien berücksichtigt werden (siehe Ziffer 3). Eine koordinierte Sammlung und Rücknahme (siehe Ziffer 5) steigert die Menge an Batterien, die für Recycling und Wiederverwendung zur Verfügung stehen (siehe Ziffer 6).

Moderne Messmethoden und eine bessere Nachverfolgbarkeit des Batteriezustands ermöglichen fundierte Entscheidungen über die weitere Nutzung der Batterien, sei es in der Elektromobilität, für stationäre Anwendungen oder Recycling (siehe Ziffer 6). Eine intelligente Kreislaufwirtschaft stabilisiert langfristig die Versorgungssicherheit und verringert den ökologischen Fussabdruck bei der Batterieproduktion.

Die EU fördert diese Entwicklung durch die EU-Batterieverordnung, die darauf abzielt, die Recyclingeffizienz zu steigern und die Rückgewinnung der Rohstoffe aus Batterien zu verbessern. Ein zentraler Be-

<sup>6</sup> A. Hool basierend auf National Research Council, Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy (2008): <https://nap.nationalacademies.org/catalog/12034/minerals-critical-minerals-and-the-us-economy> (14.08.2025).

<sup>7</sup> Parlamentarische Initiative 20.433 Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken: [BPI 2023 13 - Parlamentarische Initiative, Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken](https://bpi202313.ch) sowie BAU (2024), Kreislaufwirtschaft: [Kreislaufwirtschaft](https://bau.ch).

Bestandteil dieser Strategie ist der digitale Batteriepass, der ab dem 18. Februar 2027 für jede Traktionsbatterie eine vollständige Dokumentation des Lebenszyklus liefern soll – von der Rohstoffgewinnung über Produktion und Nutzung bis hin zu Wiedernutzung und Recycling. Der Batteriepass erfasst wichtige Nachhaltigkeitsdaten, wie CO2-Fussabdruck, Arbeitsbedingungen, Materialien, Gefahrenstoffe, Ressourceneffizienz und Rezyklierbarkeit (siehe auch das Beispiel in Abbildung 2-3). Zudem enthält er für Reparaturbetriebe, Wiederverwerter und Recyclingbetriebe Informationen über die Demontage sowie ausführliche Informationen über die Zusammensetzung der Batterie. Dadurch können wertvolle Materialien aus alten Batterien gezielt zurückgewonnen, Batterien effektiver wiederverwendet und recycelt werden.

Abbildung 2-3: Beispiel für Batteriepass<sup>8</sup>

Passport-ID: did:web:acme.battery.pass:0226151e-949c-d067-8ef3-162431e28976

Modellnummer: M-41698615

Seriennummer: 992356610548948

Das Bild zeigt nicht die tatsächliche Batterie und dient nur zur Veranschaulichung.

Betreiber: N2AT

← Zurück zur Übersicht

Allgemein Materialzusammensetzung Leistung Compliance Lieferkette Kreislauf CO2-Fußabdruck

**Kreislauf**  
Rohstoffkreislauf der Batterie

Getrennte Sammlung: Ensure that the waste battery is disposed of according to material composition

End-Of-Life-Information: Müllvermeidung  
Don't dispose battery at normal waste

Anteil erneuerbarer Materialien: Nicht verifiziert

Element	Pre-Consumer-Anteil	Post-Consumer-Anteil	Primärmaterial
NICKEL	17%	7%	76%
COBALT	10%	9%	81%
LITHIUM	14%	10%	76%
LEAD	11%	6%	83%

Trotz der Fortschritte in der Kreislaufwirtschaft wird das Substitutionspotenzial von Primärrohstoffen durch recycelte Materialien aus Altbatterien bis Mitte 2040 voraussichtlich nur im einstelligen Prozentbereich liegen. Grund dafür ist, dass der Bedarf an neuen Batterien bis etwa Ende 2030 weiterhin stark steigen wird,

<sup>8</sup> The Battery Pass: [Battery Passport - Viewer](#) (10.06.2025).

während aufgrund der langen Lebensdauer der Batterien noch nicht ausreichend Altbatterien für das Recycling verfügbar sind. Dennoch sind vorausschauende Strategien wie effiziente Rücknahmesysteme, verbindliche Vorgaben zur Rohstoffrückgewinnung und umweltfreundliches Batteriedesign notwendig, um für den steigenden Rücklauf an Traktionsbatterien gewappnet zu sein.

### **Vergleich der Umweltwirkung von Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor: Ein Überblick**

- Rohstoffe: Beide Fahrzeugtypen benötigen Rohstoffe, jedoch in unterschiedlicher Form. Elektrofahrzeuge verwenden kritische Metalle wie Lithium, Kobalt und Nickel für ihre Batterien. Der Abbau dieser Materialien ist mit ökologischen und menschenrechtlichen Risiken verbunden. Die Batterierohstoffe sind prinzipiell recyclebar und stellen somit eine langfristige Ressource dar. Konventionell angetriebene Fahrzeuge hingegen sind stark von fossilen Energieträgern, insbesondere Erdöl, abhängig. Die Förderung und Verarbeitung von Erdöl verursachen erhebliche Umweltschäden, beeinträchtigt Ökosysteme und führt zu sozialen Konflikten. Bei diesen Prozessen entstehen auch Treibhausgase (vor allem Methan und CO<sub>2</sub>), die den Klimawandel verstärken. Fossile Rohstoffe sind im Verbrennungsprozess nicht wiederverwertbar und somit dauerhaft verloren – im Gegensatz zu den Batterierohstoffen.
- Produktion: Die Herstellung von Elektrofahrzeugen verursacht 25 bis 50 % mehr Umweltbelastung als die Produktion konventionell angetriebener Fahrzeuge.<sup>9</sup> Hauptursache ist die energieintensive Batterieproduktion, deren Umweltwirkung stark vom genutzten Strommix abhängt. Die Emissionen für Karosserie und Fahrgestell sind hingegen vergleichbar.
- Nutzung: Im Betrieb verursachen Elektrofahrzeuge keine direkten CO<sub>2</sub>- oder Schadstoffemissionen – abgesehen von Brems- und Reifenabrieb, welche auch beim Auto mit Verbrennungsmotor vorkommen. Sie sind etwa viermal energieeffizienter als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, bei denen der grösste Teil der Energie als Abwärme verloren geht. Zudem ist die Umweltbelastung durch die Bereitstellung von Strom – insbesondere bei emissionsarmen Strommixen wie in der Schweiz – deutlich geringer als bei der Gewinnung und Nutzung von Benzin oder Diesel. Dadurch tragen Elektrofahrzeuge zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und somit zum Klimaschutz bei. Sie benötigen auch weniger Betriebsmittel (z. B. kein Motoröl), was ihre Umweltwirkung zusätzlich reduziert.
- Recycling und Kreislaufwirtschaft: Elektrofahrzeuge bieten Potenzial für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft: Die Materialien der Batterie lassen sich rückgewinnen und wiederverwenden. Das reduziert die Abhängigkeit von Primärrohstoffen und mindert langfristig ökologische Belastungen. Bei Verbrennern hingegen ist der verwendete Kraftstoff nach der Nutzung unwiederbringlich verloren.

Ein Elektroauto startet mit einem höheren ökologischen Rucksack aufgrund der Batterieproduktion. Da es im Betrieb wesentlich umweltfreundlicher ist, verringert sich dieser Nachteil mit jedem gefahrenen Kilometer. Je nach Strommix und Fahrzeugtyp erreicht ein Elektrofahrzeug nach etwa 20'000 bis 50'000 Kilometern eine bessere Treibhausgasbilanz als ein vergleichbarer Verbrenner. Letzterer hat zwar anfangs einen geringeren ökologischen Fussabdruck, verursacht jedoch mit jeder Nutzung stetige Emissionen, sodass auf die Lebensdauer der Fahrzeuge gesehen, das Elektroauto die ökologischere Variante ist.

## **2.3 Wirtschaftliche Chancen**

Die Kreislaufwirtschaft kann neue Wirtschaftszweige und Arbeitsplätze schaffen, insbesondere im Recycling und der Rohstoffrückgewinnung. Die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft in der Batterietechnologie schafft Potenziale für die Entstehung neuer Branchen, etwa im Bereich Recyclingtechnik, Batteriediagnose, Batteriemontage, Monitoring sowie Reparatur- und Wartungsdienstleistungen. Qualifizierte Fachkräfte sind nötig, um innovative Recycling- und Wiederverwendungsprozesse für Batterien zu entwickeln.

<sup>9</sup> Bundesamt für Energie (2023), Batterien für Elektrofahrzeuge: <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/77015.pdf>

Investitionen in Ausbildung und Forschung können der Schweiz helfen, sich als Innovationsstandort zu etablieren, etwa in der Entwicklung von Recyclingtechnologien sowie Batteriemonitoring und -montage. Das Schweizer Projekt CircuBAT, das ein zirkuläres Geschäftsmodell für Lithium-Ionen-Batterien etablieren will, zeigt, wie interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Forschung nachhaltige Lösungen entwickeln kann. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft, Forschung und Politik ist entscheidend, um den Übergang zur Kreislaufwirtschaft zu beschleunigen. Durch gezielte Förderung von Forschung und Innovation kann die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz gestärkt und ihre Position als Vorreiterin in der nachhaltigen Rohstoffnutzung etabliert werden. Es ist besonders wichtig, frühzeitig strategische Planungen zu entwickeln, um den Anschluss nicht zu verlieren, da die verfügbaren Mengen an Altbatterien und gesammelten Rohstoffen erst im Laufe der Zeit in ausreichendem Masse für eine wirtschaftliche Rückgewinnung nutzbar sein werden. Durch eine vorausschauende Herangehensweise kann verhindert werden, dass wertvolle Ressourcen verschwendet und bestehende Materialien für zukünftige Wertschöpfungsketten optimal genutzt werden.

Neben den ökologischen Vorteilen bietet die Kreislaufwirtschaft längerfristig auch auf wirtschaftlicher Ebene Chancen für neue Geschäftsmodelle, die Unternehmen helfen können, ihre Ressourceneffizienz zu verbessern, neue Märkte zu erschliessen, innovative Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und die Nachhaltigkeit in die Wertschöpfungsketten zu integrieren:

– **Second-Life-Nutzung von Batterien** (Verlängerung des Lebenszyklus):

- **Wenn Batterien das Ende ihrer Lebensdauer** in Elektrofahrzeugen erreichen, können sie weiterhin für andere Anwendungen wie stationäre Energiespeicher, Netzstabilisierung oder Backup-Systeme genutzt werden. Unternehmen können solche Systeme verkaufen oder vermieten, was neue Einnahmequellen schafft.
- **Zertifizierung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen:** Second-Life-Batteriehersteller könnten ein CO<sub>2</sub>-Einsparzertifikat anbieten, das den ökologischen Nutzen ihrer Produkte belegt. Das Zertifikat würde den CO<sub>2</sub>-Ausstoss im Vergleich zur Herstellung einer neuen Batterie nachweisen.

– **Recycling und Rohstoffrückgewinnung:** Das Recycling von Traktionsbatterien bietet nicht nur die Möglichkeit, wertvolle Rohstoffe zurückzugewinnen und auf dem internationalen Markt für Sekundärrohstoffe zu verkaufen, sondern auch weitere Möglichkeiten:

- **Partnerschaft mit Herstellern von Second-Life-Batterien:** Angebot zuhanden Fahrzeughersteller, dass Batteriezellen und -module, die noch funktionstüchtig sind und für eine zweite Lebensphase verwendet werden können, weitergegeben werden und «nur» die nicht mehr funktionstüchtigen Batteriezellen oder -module in den klassischen Recyclingprozess überführt werden. Quotenregelungen für Recycling – wie etwa in der Europäischen Batterie-Verordnung – sollten nicht auf Kosten der Wiederverwendung erfolgen, sondern beide Ansätze sollten durch ergänzende Massnahmen gestärkt werden. Zudem könnten Hersteller durch Regulierung und finanzielle Anreize motiviert werden, einen «Zwei-Schleifen-Ansatz» (erst Wiederverwendung, dann Recycling) zu verfolgen.<sup>10</sup> Dies reduziert die Recyclingkosten und schafft Wert für die Batteriehersteller, während gleichzeitig Second-Life-Anwendungen unterstützt werden.

- **Rückgabe der rezyklierten Rohstoffe an Kunden:** Recyclingunternehmen können die zurückgewonnenen Sekundärrohstoffe direkt an die Kunden zurückgeben (z. B. Batteriehersteller, Fahrzeughersteller), die diese wieder in ihre Produktionsprozesse einfließen lassen können. Diese Praxis stärkt die Wirtschaftlichkeit des Recyclingprozesses und trägt zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen bei.

- **Zertifizierte, nachhaltige Rohstoffe:** Recyclingunternehmen könnten Zertifikate für ihre Rohstoffe anbieten, die ihre Nachhaltigkeit und den Umweltnutzen nachweisen. Diese Zertifikate könnten für Batteriehersteller oder Automobilunternehmen von Interesse sein, die ihre Nachhaltigkeitsziele und CO<sub>2</sub>-Bilanzen verbessern möchten.

– **Produkt-as-a-Service Modelle:** Unternehmen können von der Vermietung, Miete oder Abonnement von Produkten profitieren, anstatt sie zu verkaufen:

<sup>10</sup> Seika/Kubli (2024), Repurpose or recycle? Simulating end-of-life scenarios for electric vehicle batteries under the EU battery regulation: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235255092400280X> (20.08.2025).

- **Batteriemiete für Elektrofahrzeuge:** Traktionsbatterien für Elektrofahrzeuge zu vermieten, anstatt sie zu verkaufen. Kunden zahlen eine monatliche Gebühr für die Nutzung der Batterie und können sie jederzeit aufladen oder ersetzen. Unternehmen könnten die Batterien nach dem Ende ihrer Lebensdauer wieder in den Kreislauf zurückführen und sie für andere Anwendungen oder als Sekundärbatterien verwenden.
- **Ladeservices und Wartung:** Unternehmen können Ladestationen und Wartungsdienste für Elektrofahrzeuge oder Batteriespeicherlösungen anbieten.

#### **Exkurs: Wie beliebt sind «gebrauchte» Batterien?<sup>11</sup>**

Eine neue Studie der Universität St. Gallen befragte über 1'500 Schweizer/innen zu ihren Präferenzen bei der Anschaffung eines stationären Energiespeichers für ihr Zuhause. Die Studie ergab, dass die Konsumentinnen und Konsumenten neue Batterien gegenüber Batterien in einem «zweiten Leben» deutlich vorziehen. Die Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass die Konsumentinnen und Konsumenten gebrauchte Batterien aus Elektroautos mehrheitlich **nicht** als eine nachhaltigere Option gegenüber neu produzierten Energiespeichern wahrnehmen. Strategische Produkt- und Aufklärungskampagnen könnten hier die Verbraucherwahrnehmung verbessern und die Marktakzeptanz von wiederverwendeten EV-Batterien steigern.

**Zwischenfazit:** Traktionsbatterien spielen eine zentrale Rolle bei der Energiewende und der Elektro-mobilität. Ihre Produktion erfordert Rohstoffe, deren Verfügbarkeit begrenzt und teilweise mit Risiken verbunden ist. Europa ist stark von Importen abhängig, was durch geopolitische Spannungen zusätzliche Unsicherheiten schafft. Die Kreislaufwirtschaft bietet eine wichtige Chance, diese Abhängigkeiten zu verringern und gleichzeitig Umweltbelastungen zu reduzieren. Sie eröffnet zudem neue wirtschaftliche Möglichkeiten durch innovative Geschäftsmodelle und Technologien. Dennoch wird der Bedarf an Primärrohstoffen in den kommenden Jahren weiter steigen, weshalb nachhaltige Strategien unverzichtbar bleiben.

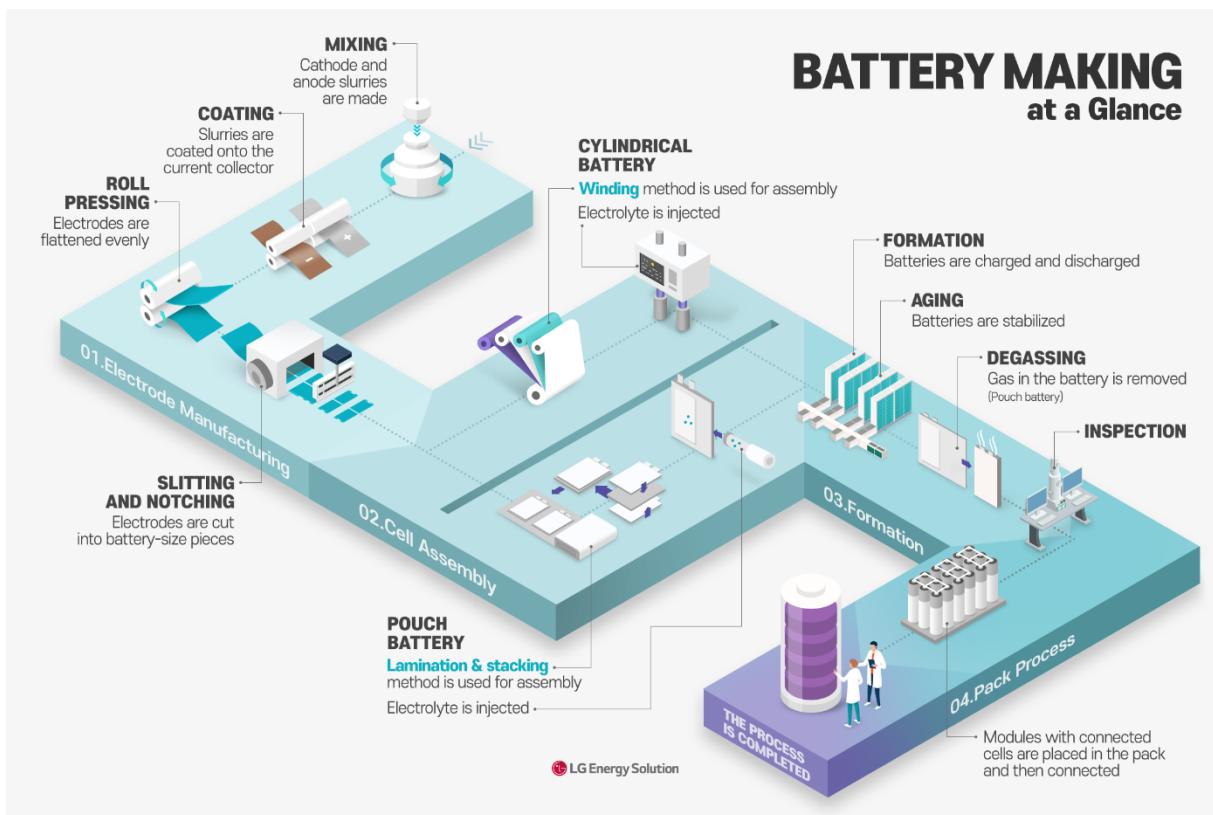
<sup>11</sup> Seika, Juliane (forthcoming): From Road To Home: Are Residential Consumers Willing To Adopt Repurposed Electric Vehicle Batteries?

### 3. Produktion – Herstellung von Traktionsbatterien

Die Batterieproduktion lässt sich in vier Hauptschritte unterteilen:

1. die Elektrodenherstellung,
2. die Zellherstellung,
3. das Formieren und
4. die Packherstellung.

Abbildung 3-1: Batterieherstellung auf einen Blick<sup>12</sup>



In der **Elektrodenherstellung** werden die Elektrodenmaterialien zu einer Art Paste vermischt, die anschliessend auf die Stromsammlerfolien beschichtet wird. Damit die Batterien möglichst effizient funktionieren, werden die aufgetragenen Elektrodenmaterialien angepresst, bevor die beschichteten Elektrodenfolien auf die richtige Grösse zugeschnitten werden. In der **Zellherstellung** werden die zugeschnittenen Elektroden aufgerollt oder aufeinander gestapelt. Diese Struktur besteht schichtweise aus Anode, Separator und Kathode – vergleichbar mit einem «Sandwich». Der Elektrolyt fungiert dabei als «Sauce»: Er ermöglicht den Ionenaustausch zwischen den beiden Elektroden durch den Separator hindurch. Anschliessend wird dieses Stapelpaket in ein Gehäuse eingebracht und verschlossen. Es gibt verschiedene Zellformate – zylindrisch, prismatisch, pouch –, die sich durch spezifische Vor- und Nachteile auszeichnen.

Beim **Formieren** wird die elektrische Energie der Zellen aktiviert, indem sie erstmals schonend geladen und entladen werden. Dadurch werden die Stabilität und Langlebigkeit der Zellen sichergestellt. Nach dem Formieren durchlaufen die Zellen umfangreiche Qualitätskontrollen, um die Sicherheit der Zellen zu gewährleisten. Schlussendlich werden die Zellen zu einem **Batteriepack** – der Traktionsbatterie – zusammengebaut. Dabei werden die Zellen meist zu Modulen zusammengefasst, die anschliessend mit Elektronik und einem Temperaturmanagement (Kühlsystem) zur fertigen Traktionsbatterie montiert werden.

<sup>12</sup> LG Energy Solution (2023), Battery Making at a Glance: [\(Infographics #3\) Battery Making at a Glance](#) (07.08.2025).

Batterieforschung und -produktion befinden sich in einem dynamischen Wandel. Alle Komponenten – von den Materialien über das Design bis zu den Herstellungsprozessen – unterliegen ständigen Innovationen. Ziel ist es, Traktionsbatterien – und schlussendlich die Elektroautos – kostengünstiger, umweltfreundlicher und leistungsstärker zu machen.

Ein Beispiel für Innovation in der Produktion ist das trockene Beschichtungsverfahren, das auf Lösungsmittel verzichtet. Wird dieses Verfahren mit einem erneuerbaren Energiemix kombiniert, lassen sich sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile erzielen.

In der Zellchemie geht der Trend zunehmend weg von Lithium-Nickel-Mangan-Kobaltoxid (NMC) hin zu Lithium-Eisenphosphat (LFP). LFP-Zellen verwenden preiswertere und weniger kritische Rohstoffe. Zudem wird der industrielle Markteintritt von Natrium-Ionen-Batterien erwartet. Diese benötigen kein Lithium, was sie potenziell nachhaltiger und kostengünstiger macht – insbesondere, wenn Lithiumpreise steigen. Eine weitere Entwicklung konventioneller Batteriearchitekturen ist die direkte Integration von Batteriezellen in die Traktionsbatterie unter Verzicht auf die Modulebene («cell-to-pack»). Dadurch lassen sich Materialien einsparen, was den Ressourcenbedarf reduziert und gleichzeitig die gravimetrische Energiedichte der Traktionsbatterie erhöht.

Ausserdem verlangt die EU, dass der Anteil an recyceltem Material in neuen Batterien in den kommenden Jahren steigt.<sup>13</sup> Einige Batteriehersteller bauen bereits Recyclinganlagen, in denen Produktionsauschüsse recycelt werden, um den Bedarf an primären Rohstoffen zu senken.<sup>14</sup> Gleichzeitig erproben Autohersteller das Konzept «Design for Recycling», bei dem die Recyclingfähigkeit von Bauteilen bereits in der Produktion berücksichtigt wird. Dieser Ansatz steht jedoch vor der Herausforderung, gleichzeitig die hohen Leistungsanforderungen bei niedrigen Produktionskosten zu gewährleisten.<sup>15</sup>

**Zwischenfazit:** Die Batterieproduktion durchläuft mehrere spezialisierte Prozessschritte, die laufend weiterentwickelt werden, um Effizienz, Nachhaltigkeit und Leistung zu steigern. Neue Entwicklungen bei Materialien, Herstellungsverfahren und dem Design von Batterien ermöglichen Fortschritte sowohl in ökologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht.

<sup>13</sup> EU-Batterieverordnung: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj?locale=de> (20.08.2025).

<sup>14</sup> Fraunhofer ISI (2023), Europa baut Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus: Kapazitätsentwicklung, Bedarfsanalyse und Marktakteure im Blickpunkt: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/themen/batterie-update/recycling-lithium-ionen-batterien-europa-kapazitaeten-bedarf-akteure-markt-analyse.html> (20.08.2025).

<sup>15</sup> Mercedes-Benz Group, Kreislaufwirtschaft von Batteriesystemen: Der Kreis schließt sich. <https://group.mercedes-benz.com/nachhaltigkeit/ressourcen-kreislaufwirtschaft/recycling/batterie.html> (20.08.2025).

## 4. Nutzung – Die Lebensdauer einer Traktionsbatterie im Elektrofahrzeug

Traktionsbatterien von Personenwagen haben typischerweise eine Kapazität von 40 bis 90 kWh und ermöglichen eine Reichweite von 300 bis 550 km pro Ladung. Im Laufe eines Autolebens (200'000 bis 500'000 km) durchläuft die Batterie rund 1'000 bis 2'000 Ladezyklen. Der Kapazitätsverlust der Batterie beträgt in den ersten 300'000 km meist etwa 12 %, das entspricht einem SOH von 88 %, weshalb die Batterie in der Regel ein ganzes Autoleben lang hält. Anschliessend können die Batterien aus dem Fahrzeug ausgebaut und für die Wiederverwendung vorbereitet werden. Sie können ein zweites Leben erhalten und beispielsweise als Speicherlösungen bei Photovoltaikanlagen eingesetzt werden.<sup>16</sup>

Um die Lebensdauer von Traktionsbatterien zu optimieren, werden die Batteriezellen von einem elektronischen Batteriemanagementsystemen (BMS) überwacht. In den Batteriemanagementsystemen sind wichtige Funktionen hinterlegt. Dazu zählen die Temperaturregelung, die Überwachung der Batteriezellen, der Schutz vor zu starker Entladung bzw. Überladung und Massnahmen zum Ausgleich unterschiedlicher Zellspannungen. Über die Kommunikation mit dem Bordladegerät bzw. mit der Ladeinfrastruktur kann die Ladung bzw. Entladung möglichst schonend erfolgen. Durch vorausschauendes Fahren und optimiertes Ladeverhalten kann die Lebensdauer zusätzlich verlängert werden.

Die Batterie ist das teuerste Bauteil eines Elektrofahrzeugs. Reparaturmöglichkeiten variieren je nach Hersteller und beinhalten den Austausch von Zellen, Elektronikkomponenten oder den Ersatz der kompletten Batterie. Solche Arbeiten können mehrheitlich über die Garantie abgewickelt werden, da auf Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen in der Regel eine Garantie von 8-10 Jahren bzw. 150'000-200'000 km gewährleistet wird. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, sich mit Garantieverlängerungen vor den hohen Kosten einer Batteriereparatur oder eines Batterieersatzes abzusichern.

Eine Reparatur ist abhängig von der Zellart, der Anordnung der Zellen zu Modulen und zur Komplettbatterie und der Verfügbarkeit von Ersatzteilen. Entwicklungen wie die Integration von Zellen in das Gehäuse oder die Fahrzeugstruktur (Cell-to-Pack bzw. Cell-to-Chassis) bieten produktionsseitig und bzgl. spezifischem Energieinhalt zwar Vorteile, erschweren aber die Reparatur und den Einsatz der Zellen ausserhalb des ursprünglichen Einsatzes. Reparaturen dürfen nur von geschulten Personen mit entsprechender Ausrüstung durchgeführt werden.<sup>17</sup>

Bei Beschädigung durch äussere Einflüsse, wie etwa einen Unfall, sind die ergriffenen Sicherheitsmassnahmen – beispielsweise der Abtransport und die Quarantäne in Brandschutzbekältern – sowie die genaue Beurteilung des Batteriezustands (State of Health SOH) entscheidend, um eine mögliche Weiterverwendung einzelner Batteriezellen zu ermöglichen (siehe auch Ziffer 6.1). Zur Beurteilung des inneren Gesundheitszustands der Batterie werden verschiedene Testmethoden eingesetzt. Eine Standardisierung dieser Methoden ist wünschenswert, da sie eine verbesserte Vergleichbarkeit und Klassifizierung von Batterien und Batteriezellen ermöglicht.

**Zwischenfazit:** Ein sorgfältiger und bewusster Umgang mit Traktionsbatterien kann ihre Lebensdauer deutlich verlängern. Dies wird in den meisten Fällen durch ein Batteriemanagementsystem automatisiert gewährleistet. Die Traktionsbatterie ist somit nicht das limitierende Bauteil für die Lebensdauer des Elektroautos. Je mehr Informationen zum Batteriezustand vorhanden sind, desto einfacher kann eine möglichst lange Nutzung gewährleistet werden.

<sup>16</sup> P3 (2024), Batteriealterung in der Praxis: Analyse von über 7.000 Fahrzeugen gibt tiefe Einblicke in Batterielebensdauer und Fahrzeug-Restwert: <https://www.p3-group.com/p3-updates/batteriealterung-in-der-praxis/> (20.08.2025).

<sup>17</sup> Die Broschüre «Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz im Umgang mit Hochvoltsystemen von Hybrid- und Elektrofahrzeugen» der Eidgenössischen Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS), Nr. 6281 vom 1.1.2015 bietet wertvolle Informationen dazu.

## 5. Sammlung und Rücknahme von Altbatterien – Die Verantwortung am Lebensende

Ausgediente Batterien fallen voraussichtlich vor allem in Werkstätten oder bei Autoverwertern an. Da Batterien als Sonderabfall gelten, ist deren umweltgerechte Entsorgung von grosser Bedeutung. Sie gelten als Gefahrgut und müssen dementsprechend gemäss ADR/SDR-Vorschriften transportiert werden. Besonders kritische<sup>18</sup> Batterien stellen ein hohes Risiko für Stromschläge und Brände dar und müssen in Sicherheitsbehältern transportiert werden.<sup>19</sup>

Für Batterien wird eine vorgezogene Entsorgungsgebühr erhoben.<sup>20</sup> Gemäss den geltenden rechtlichen Bestimmungen, müssen die Hersteller und Händlerinnen die Traktionsbatterien kostenlos zurücknehmen.<sup>21</sup> Da die Traktionsbatterien eine besonders lange Lebensdauer haben und die Erhebung der vorgezogenen Entsorgungsgebühr bereits beim Kauf der Fahrzeuge (und damit der Batterie) viel Kapital für eine lange Zeit binden würde, haben die Hersteller und Importeure von Elektrofahrzeugen in der Schweiz eine Befreiung von der Gebührenpflicht beantragt und diese bisher auch erhalten. Sie sind im Gegenzug dazu verpflichtet, die umweltgerechte Entsorgung der Batterien nach dem Stand der Technik und vollständig auf eigene Kosten zu gewährleisten.

In der Schweiz gibt es drei unterschiedliche Rücknahmesysteme für Traktionsbatterien:

- **Genossenschaft sestorec**: Sestorec umfasst derzeit 45 Fahrzeugimporteure und -hersteller, die sich verpflichtet haben, die Batterien kostenlos zurückzunehmen und zu verwerten. Die entsprechenden Prozesse müssen bei Inobat eingereicht und die künftigen Entsorgungskosten durch eine Bankgarantie abgesichert werden.
- **SENS eRecycling**: Bei SENS sind derzeit 82 Direkt- und Parallelimporteure zusammengeschlossen. Sie zahlen einen vorgezogenen Recyclingbeitrag, den SENS verwendet, um die Kosten für Sammlung, Transport und Entsorgung für ihre Mitglieder zu decken.
- **INOBAT**: Für diejenigen Importeure und Hersteller von Traktionsbatterien, die sich keiner Branchenlösung anschliessen, gilt die Befreiung von der Gebührenpflicht nicht. Sie müssen die vorgezogene Entsorgungsgebühr auf Batterien bezahlen. Inobat erhebt die Gebühr im Auftrag des Bundes und finanziert damit die Sammlung, den Transport und die Verwertung der entsprechenden Batterien.

Beim Ausbau von ausgedienten Traktionsbatterien muss daher zunächst anhand der Batterieidentifikationsnummer (BIN) geklärt werden, welches der drei Systeme die Kosten für die Entsorgung tragen muss. Der Ausbau der Traktionsbatterie darf nur durch geschultes Personal mit entsprechender Ausrüstung erfolgen.<sup>22</sup>

### 5.1 Logistische Herausforderungen

Eine logistische Herausforderung betrifft die Grösse und das Gewicht von Antriebsbatterien, die bis zu 800 kg bei Personenwagen wiegen können. Der Zustand der Batterie sollte idealerweise noch im eingebauten Zustand bewertet werden und wird in drei Kategorien unterteilt:

- gebrauchte, funktionstüchtige Batterie
- beschädigte oder defekte, reparaturfähige, unkritische Batterie
- beschädigte oder defekte, kritische Batterie

<sup>18</sup> Als kritisch gelten Traktionsbatterien, wenn sie beispielsweise infolge eines Brands, eines Unfalls, einer Wasserflutung oder aus ähnlichen Gründen mechanisch erheblich beschädigt werden. Ein erheblicher Schaden liegt beispielsweise vor, wenn das Gehäuse der Batterie gebrochen oder gerissen ist oder wenn die Batterie sichtbar verformt ist (siehe auch Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR), Anlage A, Kapitel 3.3, Sondervorschrift 376).

<sup>19</sup> Weitere Vorgaben finden sich in Merkblättern und Leitfäden wie der Informationsbroschüre zu Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz im Umgang mit Hochvoltsystemen von Hybrid- und Elektrofahrzeugen (EKAS), Leitfaden für das Bergen, Transportieren, Verwahren und Entsorgen von Fahrzeugen mit Elektroantrieb (ASTRA / ASS) und Wegleitung für Werkstätten zum Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien in der Fahrzeugtechnik (auto-schweiz / AGVS / ASTAG).

<sup>20</sup> Anhang 2.15 Ziffer 6.1ff der Verordnung vom 18. Mai 2005 zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (ChemRRV; SR 814.81)

<sup>21</sup> Siehe Anhang 2.15 Ziffer 5.2 der Verordnung vom 18. Mai 2005 zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (ChemRRV; SR 814.81)

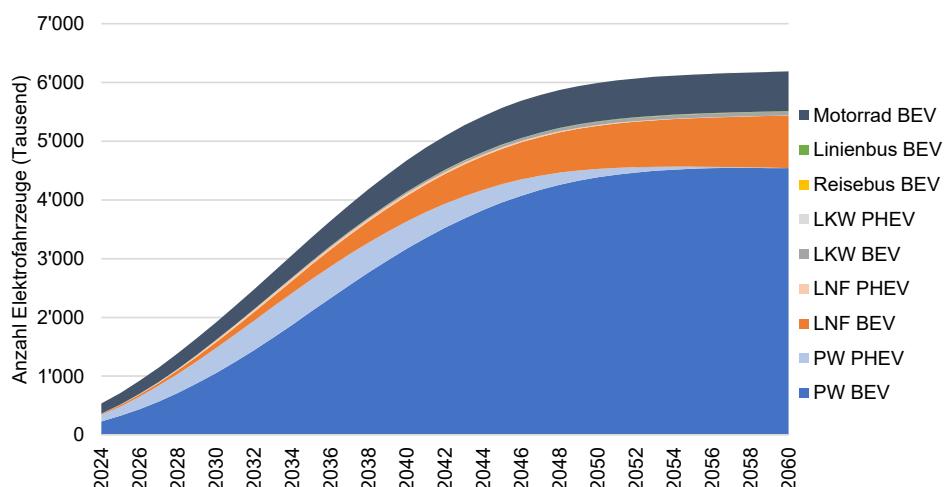
<sup>22</sup> Die Broschüre «Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz im Umgang mit Hochvoltsystemen von Hybrid- und Elektrofahrzeugen» der Eidgenössischen Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS), Nr. 6281 vom 1.1.2015 bietet wertvolle Informationen dazu.

**Zwischenfazit:** Traktionsbatterien in Elektrofahrzeugen gelten als Sonderabfall und Gefahrgut, deren Entsorgung aufgrund ihrer potenziellen Gefährdungen, wie z. B. Bränden, besonderen Vorschriften unterliegt. Bei unbeschädigten Batterien und korrekter Lagerung ist die Brandwahrscheinlichkeit allerdings sehr gering. Hersteller und Importeure sind verpflichtet, die Batterien kostenlos zurückzunehmen und umweltgerecht zu entsorgen. Für Traktionsbatterien gibt es drei Rücknahmesysteme: Sestorec, SENS eRecycling und INOBAT.

## 6. Wiederverwendung und Recycling – Die Kreislaufwirtschaft in der Praxis

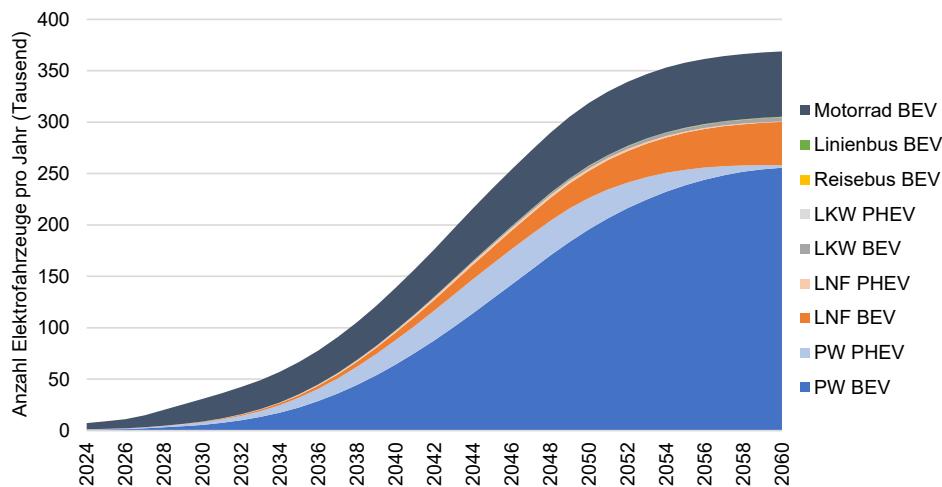
Die Lebensdauer von Elektrofahrzeugen beträgt 10 bis 20 Jahre. Der Bestand an Elektrofahrzeugen in der Schweiz wird gemäss Prognosen von Infras bis etwa 2050 ansteigen (siehe Abbildung 6-1), aber gleichzeitig erreicht eine wachsende Zahl an Fahrzeugen das Ende ihrer Lebensdauer. Ab etwa 2050 wird die Zahl der Neuzulassungen mit der Zahl der ausgeschiedenen Fahrzeuge übereinstimmen. Abbildung 6-2 zeigt, wie die Zahl der jährlich ausser Betrieb genommenen Elektrofahrzeuge im Laufe der Zeit zunimmt.

**Abbildung 6-1: Bestand an Elektrofahrzeugen in der Schweiz nach Fahrzeugtyp<sup>23</sup>**



<sup>23</sup> INFRAS (2023). Legende:  
LKW = Lastwagen / LNF = leichte Nutzfahrzeuge / PW = Personenwagen  
BEV = batterieelektrisches Fahrzeug (nur elektrisch) / PHEV = Plug-in Hybridfahrzeug (teils elektrisch, teils Verbrenner)

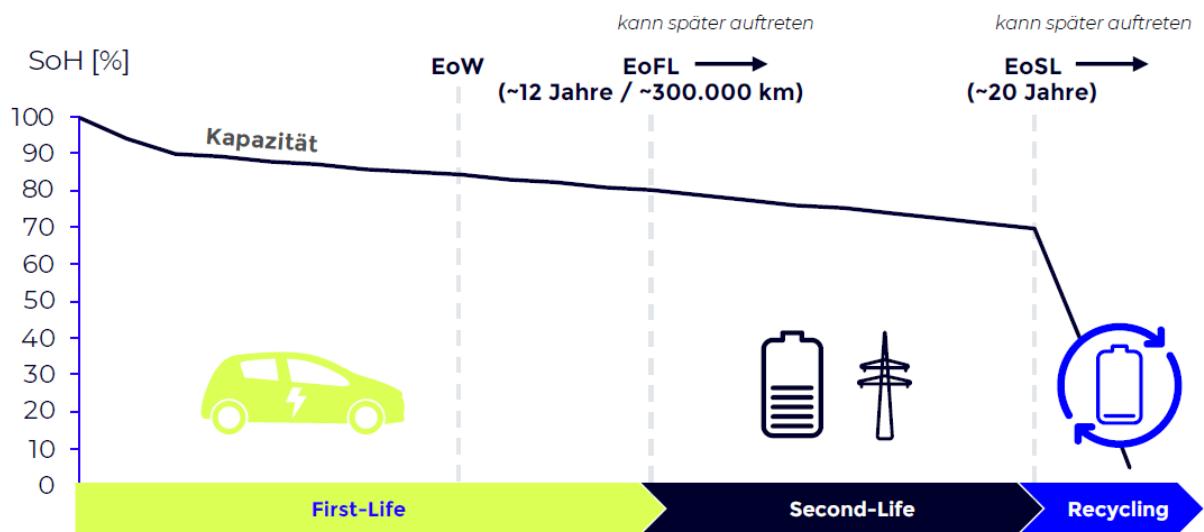
Abbildung 6-2 Ausserverkehrsgesetzte Elektrofahrzeuge nach Fahrzeugtyp<sup>23</sup>



Der Bestand an Elektrofahrzeugen wird mittel- bis längerfristig ein grosses Potenzial für die Wiederverwendung und das Recycling von Traktionsbatterien bieten. Um dieses Potenzial optimal zu nutzen, ist es entscheidend, dass möglichst viele Informationen und Daten über die gebrauchte Batterie vorliegen, wenn sie aus dem Verkehr genommen wird. Nur so lässt sich im Anschluss gezielt entscheiden, ob die Batterie weiterhin in einem Fahrzeug eingesetzt, für einen anderen Verwendungszweck umfunktioniert oder dem Recyclingprozess zugeführt werden sollte.

Die folgende Abbildung veranschaulicht den Lebenszyklus einer Traktionsbatterie bei optimaler Nutzung.

Abbildung 6-3: Lebenszyklus einer Traktionsbatterie<sup>24</sup>



## 6.1 Wiederverwendung

Traktionsbatterien, welche die Anforderungen eines Elektrofahrzeugs nicht mehr erfüllen, können von geschultem Personal überprüft werden. Anschliessend kommen folgende Optionen in Frage:

- Reparatur der Traktionsbatterie zur Verlängerung der Lebensdauer im First Life

<sup>24</sup> P3 (2024), Batteriealterung in der Praxis: Analyse von über 7.000 Fahrzeugen gibt tiefe Einblicke in Batterielebensdauer und Fahrzeug-Restwert: [Batteriealterung in der Praxis](https://www.p3-group.de/batteriealterung-in-der-praxis/) - P3 group GmbH (06.08.2025). Legende:

SoH = State of Health (Gesundheitszustand)

EoW = End of Warranty (Ende der Garantiezeit)

EoFL = End-of-First-Life (Erstes Lebensende)

EoSL = End-of-Second-Life (Zweites Lebensende)

- Wiederverwendung der Traktionsbatterie als Second-Life-Batterie im gleichen oder anderen Anwendungsbereich
- Recycling der Batterie (siehe Ziffer 6.2)

Wenn möglich, kann die Batterie repariert und ihre Lebensdauer verlängert werden, indem z. B. beschädigte Teile ausgetauscht werden (siehe Ziffer 4).

Falls der Zustand der Batterie nicht mehr ausreicht, um weiterhin ein Elektrofahrzeug anzutreiben, wird die Traktionsbatterie ausgebaut, von geschultem Personal geprüft und für eine Wiederverwendung vorbereitet. Das Potenzial für Second-Life-Batterien, die entweder im gleichen oder in einem anderen Anwendungsbereich genutzt werden, wird künftig – wenn eine grosse Anzahl alter Batterien ihr Lebensende erreicht – beträchtlich sein (siehe Abbildung 6-2). Zwei zentrale Lösungsansätze für die zukünftige nachhaltige Wiederverwendung von Batterien stellen die Wiederaufarbeitung (Remanufacturing) und Umnutzung (Repurposing) von Batterien dar. Beim Remanufacturing werden funktionierende Komponenten aus alten Batterien herausgenommen und wiederverwendet, um daraus neue, voll funktionsfähige Batterien zu erzeugen. Diese können dann in der gleichen Anwendung weiterverwendet werden. Das Repurposing umfasst die Umnutzung alter Batterien für neue Einsatzbereiche. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von Batterien aus Elektrofahrzeugen in stationären Speicherlösungen. Aufgrund der aktuell noch geringen Menge an alten Traktionsbatterien gibt es bisher in der Schweiz erst wenige Unternehmen, die Altbatterien wiederverwenden. In der Schweiz sind beispielsweise Kyburz (im Bereich Remanufacturing) sowie Modual und Upvolt (im Bereich Repurposing) aktiv. Libatton nutzt B-Grad-Zellen aus der E-Fahrzeugproduktion – also Zellen, die nicht den höchsten Qualitätsstandards entsprechen – zur Herstellung von stationären Batteriespeichern. Einige dieser Unternehmen setzen auf Automatisierung, um wettbewerbsfähig gegenüber herkömmlichen Batterien zu sein.

Wenn die Batterie auch für die Second-Life-Anwendung nicht mehr geeignet ist, wird sie ausgebaut und dem Recycling zugeführt (siehe nächsten Abschnitt 6.2).

Eine Wiederverwendung von Batterien bringt viele Vorteile: Die Wiederverwendung von Batterien spart wertvolle neue Rohstoffe, was zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Zudem fördert sie einen nachhaltigen Wirtschaftskreislauf, indem die Lebensdauer von Batterien verlängert und die Menge an Abfall reduziert wird.

## 6.2 Recycling

Am Ende des Lebenszyklus der Traktionsbatterie, wenn sie nicht mehr für den Einsatz im Fahrzeug oder für eine Second-Life-Nutzung geeignet ist, wird sie dem Recycling zugeführt. Der Recyclingprozess umfasst das Entladen, Zerlegen und Verwerten. In einem ersten Schritt wird die Batterie entladen, z. B. durch Widerstandsentladung, elektrolytische Entladung oder Einspeisung der Energie in ein Stromnetz oder in einen anderen Energiespeicher, bevor sie zerlegt wird. Fachkundige Mitarbeiter überwachen diesen Prozess. Die Demontage kann auf Modul- oder Zelllevel erfolgen, je nach Aufbereitungsbedarf. Schlussendlich findet die Verwertung statt. Diese kann pyrometallurgisch (schmelzen) oder mechanisch (zerkleinern) erfolgen. Beim Schmelzverfahren werden bei Zellen auf NMC-Basis Metalle wie Kupfer, Nickel und Kobalt zurückgewonnen, während Verunreinigungen wie Eisen, Aluminium und Lithium in der Schlacke landen. Durch Pyrolyse oder Schreddern werden die Materialien für die anschliessende Separation in die Zielfraktionen vorbereitet. Diese sind beispielsweise Schwarzmasse, Stahl, Kunststoffe, Aluminium, Kupfer, Folien und der Elektrolyt. Herausforderungen bestehen in der Verwertung des Elektrolyten und der Reinigung des eventuell anfallenden Abwassers. Metallische Fraktionen können in Schmelzhütten als Sekundärmaterialien genutzt werden. Die Schwarzmasse kann sowohl pyro- als auch hydrometallurgisch aufbereitet werden, wobei die Hydrometallurgie höhere Anforderungen an die Qualität stellt. Die eingesetzte Technologie sollte darauf abzielen, möglichst reine Metallfraktionen oder Schwarzmasse zu erzeugen und die Recyclingeffizienz zu maximieren.

Batterien haben unterschiedliche chemische Zusammensetzungen, welche sich in ihrem Materialwert erheblich unterscheiden (siehe Ziffer 3). Eine sortenreine Verarbeitung ist entscheidend, um hochwertige Produkte zu erzeugen und die Nachhaltigkeit zu verbessern. Ein gemeinsames Verarbeiten von NMC- und LFP-Batterien könnte dazu führen, dass das Eisenphosphat als Verunreinigung in der Schwarzmasse betrachtet wird. Dies würde die Extraktion der Zielelemente negativ beeinflussen. Es wird daher darauf geachtet, dass die Batterien möglichst nach Zellchemie getrennt verarbeitet werden.

In der Schweiz gibt es drei Unternehmen, die sich mit Batterierecycling befassen:

- **Kyburz Switzerland AG** verfügt über ein Recyclingverfahren für LFP-Zellen, dessen aktuelle Jahreskapazität bei 200 Tonnen liegt und sich auf 1'000 Tonnen erweitern lässt. Das Unternehmen setzt dabei auf ein direktes Batterierecycling ohne den Einsatz von Shreddern. In diesem Prozess werden die wesentlichen Bestandteile der Batterie, Aluminiumfolie, Lithium-eisenphosphat, Separator, Kupferfolie, Graphit sowie das Kunststoffgehäuse der Batteriezelle, zurückgewonnen und die wichtigsten Materialien in den Batteriekreislauf zurückgeführt.
- **Librec AG** befindet sich seit Ende 2024 in Betrieb und ist auf das Recycling von Traktionsbatterien spezialisiert. Langfristig strebt das Unternehmen an, bis zu 12'000 Tonnen pro Jahr zu recyceln. Bei Librec werden die Traktionsbatterien geschreddert, getrocknet und anschliessend in verschiedene Materialfraktionen getrennt. Die Zielfraktionen sind Sekundärrohstoffe sowie die Schwarzmasse, die durch andere Unternehmen weiterverarbeitet wird.
- Die **Batrec Industrie AG** hat langjährige Erfahrung im Recycling von Haushaltsbatterien. Seit November 2023 werden Lithium-Ionen-Batterien mechanisch separiert, d. h. sie werden zuerst zerkleinert und anschliessend durch verschiedene mechanische Trennverfahren in die Fraktionen Schwarzmasse, Eisenfraktion, Kunststoffe, Folien, Kupfer sowie Aluminium-Kunststoff getrennt. Mit Ausnahme der Folien können alle Fraktionen recycelt werden. Die jährliche Kapazität für die Verwertung von Lithium-Ionen-Batterien beträgt 6'000 Tonnen.

Die Nutzung von sekundären Rohstoffen für die Batterieproduktion bietet sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile: Sie trägt zur Nachhaltigkeit bei, indem sie den Abbau natürlicher Ressourcen reduziert, die Umweltverschmutzung verringert und den CO<sub>2</sub>-Ausstoss senkt. Aus wirtschaftlicher Sicht ist insbesondere die Rückgewinnung von Metallen wie Kupfer interessant: Die beim Recyclingprozess anfallenden Materialfraktionen enthalten teils deutlich höhere Kupferkonzentrationen als herkömmliches Kupfererz, was die Aufbereitung effizienter und wirtschaftlich attraktiver macht. Allerdings kann das Recycling den Bedarf an Rohstoffen nur teilweise decken. Daher sind auch fortschrittliche Herstellungstechniken und innovative Zellchemien von entscheidender Bedeutung.

**Zwischenfazit:** Die Wiederverwendung und das Recycling von Traktionsbatterien bieten ökologische und ökonomische Vorteile. Der wachsende Bestand an Elektrofahrzeugen in der Schweiz schafft Potenzial für die Rückgewinnung sekundärer Rohstoffe. Trotz der Fortschritte im Recycling sind weiterhin innovative Technologien erforderlich, um die Materialqualität zu sichern, die Effizienz zu steigern und auch zukünftige Zellchemien verarbeiten zu können.

## 7. Fazit

Batterien sind ein zentrales Element für die nachhaltige Entwicklung im Mobilitätssektor. Besonders Traktionsbatterien spielen im Kontext der Elektromobilität eine Schlüsselrolle.

Die grössten Umweltbelastungen entstehen vor allem in den frühen Phasen des Batterie-Lebenszyklus – insbesondere bei der Rohstoffgewinnung und der Zellproduktion. Im Vergleich dazu fällt die Umweltbelastung während der Nutzung von Elektrofahrzeugen deutlich geringer aus. Elektrofahrzeuge sollten deshalb möglichst lange genutzt werden, um ihre ökologische Gesamtbilanz zu optimieren.

Ein entscheidender Hebel für mehr Nachhaltigkeit in der Elektromobilität liegt in der konsequenten Umsetzung der Prinzipien der Kreislaufwirtschaft. Die Schweiz verfügt weder über relevante Vorkommen an Batterierohstoffen noch über eine starke Position in der Batterieproduktion. Dennoch bieten sich im Bereich der Kreislaufwirtschaft wirtschaftliche Chancen. Durch die Entwicklung innovativer Batterieanwendungen, Wiederverwendungsstrategien und Recyclingverfahren kann die Schweiz ihre Stärken in Forschung und Entwicklung gezielt nutzen.

Technisch sind sowohl die Wiederverwendung als auch das Recycling von Traktionsbatterien realisierbar und bieten erhebliche ökologische Vorteile. Um die Materialströme der Batterien in geschlossene Kreisläufe zu überführen, ist der Aufbau einer effizienten Sammelinfrastruktur sowie die Weiterentwicklung fortgeschrittlicher Recyclingtechnologien entscheidend. Diese Massnahmen ermöglichen es, wertvolle Materialien aus gebrauchten Batterien zurückzugewinnen und langfristig die Abhängigkeit von Primärrohstoffen zu verringern.

Eine konkrete Strategie innerhalb dieses Kreislaufansatzes ist die Wiederverwendung von Batterien, auch als «Second-Life» bekannt. Die flächendeckende Umsetzung der Wiederverwendung hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. der Preisentwicklung bei Batterierohstoffen, die massgeblich darüber entscheiden kann, wie wirtschaftlich diese Wiederverwendungsansätze langfristig sind.

Impulse für eine nachhaltige Gestaltung des gesamten Batterielebenszyklus gibt die neue EU-Batterieverordnung, die einen umfassenden regulatorischen Ansatz verfolgt. Ein zentrales Instrument dieser Verordnung ist der verpflichtende Batteriepass ab 2027, der unter anderem Transparenz und Rückverfolgbarkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette verbessern soll. Auch in der Schweiz werden damit grosse Erwartungen verknüpft, weshalb seine Entwicklung aktiv beobachtet wird. Bisher gibt es in der Schweiz keine verbindlichen Vorgaben für den Batteriepass.

Die zentrale Rolle von Batterien im ökologischen Wandel und die hohen wirtschaftlichen Erwartungen treiben die technologische Entwicklung in diesem Bereich stark voran. Um die sich daraus ergebenden Chancen zu nutzen und gleichzeitig ökologische Ziele zu erreichen, sind die Schweizer Forschungsinstitutionen und die Innovationskraft der Schweizer Wirtschaft gefordert. Sie müssen die wichtigen technologischen Entwicklungen frühzeitig erkennen und aktiv mitgestalten, um einen wirtschaftlichen Vorteil erwirtschaften zu können.

Was passiert also mit der Batterie meines Elektroautos? Traktionsbatterien, die nicht mehr den Anforderungen eines Elektrofahrzeugs genügen, werden gesammelt und von geschultem Personal geprüft. Je nach Zustand ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- **Reparatur zur Verlängerung der Lebensdauer (First Life):** Defekte Komponenten wie einzelne Zellmodule werden ersetzt, damit die Batterie weiterhin im Fahrzeug eingesetzt werden kann.
- **Wiederverwendung als Second-Life-Batterie:** Ist die Batterie nicht mehr für den Fahrzeugeinsatz geeignet, kann sie für die Wiederverwendung aufbereitet und beispielsweise als stationärer Energiespeicher eingesetzt werden.
- **Recycling am Ende des Lebenszyklus:** Wenn weder Reparatur noch Wiederverwendung möglich ist, wird die Batterie recycelt. Dabei werden wertvolle Materialien zurückgewonnen.

**Fazit:** Reparatur, Wiederverwendung und Recycling stärken die Kreislaufwirtschaft und fördern Innovation und Standort Schweiz.

## 8. Anhang: Glossar

Abfall	Abfälle sind bewegliche Sachen, deren sich der Inhaber entledigt oder deren Entsorgung im öffentlichen Interesse geboten ist. (Art. 7 Abs. 6 USG).
Behandlung	Erläuterungen zur Abgrenzung zwischen Produkt und Abfall werden in der Vollzugshilfe Allgemeine Bestimmungen der VVEA erläutert.
Behandlung, thermische	Als Behandlung gilt jede physikalische, chemische oder biologische Veränderung der Abfälle (Art. 7 Abs. 6bis USG).
Entsorgung	Die Behandlung von Abfällen mit so hoher Temperatur, dass umweltgefährdende Stoffe zerstört oder durch Mineralisierung physikalisch oder chemisch gebunden werden (Art. 3 Bst. I VVEA).
Händlerin	Die Entsorgung der Abfälle umfasst ihre Verwertung oder Ablagerung sowie die Vorstufen Sammlung, Beförderung, Zwischenlagerung und Behandlung. (Art. 7 Abs. 6bis USG)
Herstellerin	jede natürliche oder juristische Person, die Stoffe, Zubereitungen oder Gegenstände in der Schweiz bezieht und sie in unveränderter Zusammensetzung gewerblich abgibt. (Art. 2 Bst. a ChemRRV)
Lagerung	Jede natürliche oder juristische Person, die Stoffe, Zubereitungen oder Gegenstände beruflich oder gewerblich herstellt, gewinnt oder einführt; als Herstellerin gilt auch, wer Stoffe, Zubereitungen oder Gegenstände in der Schweiz bezieht und sie in unveränderter Zusammensetzung unter eigenem Handelsnamen oder für einen anderen Verwendungszweck beruflich oder gewerblich abgibt; lässt eine Person einen Stoff, eine Zubereitung oder einen Gegenstand durch einen Dritten in der Schweiz herstellen, so gilt sie als alleinige Herstellerin, sofern sie in der Schweiz Wohnsitz oder Geschäftssitz hat. (Art. 2 Bst. b ChemRRV)
Recyclingquote	Als Lagerung gilt das Aufbewahren für die Behandlung im eigenen Betrieb oder für den Abtransport, resp. die Abgabe an Folgebehandler. (VVEA)
Sammelstelle	Die Recyclingquote bezeichnet das Verhältnis des stofflich verwerteten Anteils an der Outputmasse zur gesamten Inputmasse eines Behandlungsstroms.
Schwarzmasse	Vom Gemeinwesen oder von Privaten im Auftrag des Gemeinwesens betriebene Sammelstellen oder Sammellanlässe (Art. 3 Bst. f VREG).
Sekundärrohstoff	Die Schwarzmasse ist eine Materialfraktion, die beim Recycling von Traktionsbatterien entsteht. Es handelt sich um ein Gemisch aus Aktivmaterialien insbesondere Oxiden von Kobalt, Nickel, Mangan sowie Lithium und Graphit.
Verwertung	Material, das wiederverwendet oder in anderen Materialien wiederverwertet wird (IATE <sup>25</sup> ).
Verwertung, funktionale	Die Verwertung von Abfällen umfasst die Rückgewinnung ihrer funktionalen (Wiederverwendung), stofflichen oder energetischen Anteile (abgeleitet von den nachfolgenden drei Begriffserklärungen).
Verwertung, stoffliche	Für EAG ist das Ziel der funktionalen Verwertung ihre Wiederverwendung. Jedes Verfahren mit dem Ziel, Geräte und Bestandteile, die zu Abfällen geworden sind, so vorzubereiten, dass sie wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt waren.
Verwertung, energetische	Verfahren, durch welches Sekundärrohstoffe rückgewonnen werden und wieder in den Wirtschaftskreislauf geführt werden.
Vorbereitung zur Wiederverwendung	Einsatz von Abfällen zur Strom- und Wärmeerzeugung.
Wiederverwendung	Vorbereitung zur Wiederverwendung ist jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung, Reparatur oder Wiederaufarbeitung, bei dem Produkte oder Bestandteile von Produkten, die zu Abfälle geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie wiederverwendet werden können.

<sup>25</sup> IATE (Interactive Terminology for Europe) ist die Datenbasis der in der EU verwendeten Terminologie.