

Ernst-Peter Jeremias

Einkommensenergien und Recycling – Wichtige Voraussetzungen für eine nachhaltige Elektromobilität

Eine persönliche Stellungnahme

Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit von Elektromobilität stehen aktuell im Fokus der öffentlichen und fachlichen Diskussion. Deren Nützlichkeit für eine Klimawende im Sektor Verkehr wird dabei oft in Frage gestellt. Es ist unter den gegebenen Bedingungen unstrittig, dass die Beschaffung der notwendigen Rohstoffe in Verbindung mit der Nutzung des verfügbaren, vermögensenergielastigen Strommix in der Produktion von Elektrofahrzeugen und Batterien noch nicht ausreichend nachhaltig ist.

Es wird hier die Position vertreten, dass das elektrische Kraftfahrzeug auf der Kurzstrecke bis ca. 250 km in Verbindung mit einer neuen Mobilitätsphilosophie unverzichtbar ist. Ein 1:1 Ersatz unseres heutigen motorisierten Individualverkehrs mit Verbrennungskraftfahrzeugen wird aber nicht möglich und sinnvoll sein.

Nachhaltigkeitsdefizite von batterieelektrischen Kraftfahrzeugen (BEV) können nur durch konsequenten Ersatz von Vermögensenergie¹ durch Einkommensenergie² bei der Produktion der Batterien und Elektrofahrzeuge, beim Betrieb der BEV und beim Recycling beseitigt werden. Die Schaffung der politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für ein nahezu einhundertprozentiges Recycling, insbesondere der heute gebräuchlichen Lithium-Ionen-Batterie, auf europäischer und nationaler Ebene ist eine weitere wichtige Voraussetzung.

Aus physikalischen und daraus resultierenden energiebilanziellen Gründen gibt es zum batterieelektrischen Kraftfahrzeug keine Alternative, da der Strombedarf aus Einkommensenergie zur Erzeugung von regionalem Wasserstoff noch deutlich höher wäre.

1 Umgangssprachlich: fossile Energie.

2 Umgangssprachlich: regenerative Energie.

1 Einige grundlegende Gedanken zur Nachhaltigkeit in der Elektromobilität

„Autos mit Elektroantrieb seien umweltfreundlicher, heißt es oft. Aber die Herstellung der Hochleistungs-Akkus ist aufwändig und produziert viel CO₂. Erst nach rund 60.000 Kilometern fährt ein Strom-Auto umweltfreundlicher als ein Benziner.“ (Schwenner 2020)

„Jedoch kann nicht die Rede davon sein, dass Elektroautos ohne CO₂-Emissionen bewegt werden können, wie es der europäische Gesetzgeber behauptet, wenn er die CO₂-Emissionen dieser Autos mit einem Wert von »null« in seine Berechnungen einfließen lässt. Ein solcher Wert stimmt nicht einmal für Norwegen, wo der Strom nahezu emissionsfrei mit Wasserkraft gewonnen wird, weil der CO₂-Ausstoß bei der Fertigung von Fahrzeug und Akku ignoriert wird. In allen anderen europäischen Ländern ergeben sich darüber hinaus hohe CO₂-Emissionen durch die Beladung der Akkus mit Hilfe des Stroms aus dem jeweiligen nationalen Produktionsmix aus grüner Energie und Kernenergie auf der einen und fossilen Brennstoffen auf der anderen Seite.“ (Buchal et al. 2019, S. 41)

Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit von Elektrofahrzeugen stehen aktuell im Fokus der öffentlichen und fachlichen Diskussion. Neben fachlicher Desinformation, Unwissenheit und bewusster Ignoranz spielen für diese Auseinandersetzung auch kommerzielle Motive eine große Rolle. Für die Umsetzung der Klimaschutzziele in Deutschland bis zum Jahr 2050 ist es aber wichtig, den Stellenwert der Elektromobilität richtig einzuordnen. Ein grundlegender Aspekt dabei ist es, die temporäre und lokale Wirkung eines Elektroautos auf die Umwelt nicht aus der notwendigen Diskussion herauszulösen. Der gesamte Lebenszyklus von Elektrofahrzeugen und insbesondere deren Stromspeicher ist einer kritischen Wertung zu unterziehen. Als Stromspeicher in der Elektromobilität werden heute vorrangig Lithium-Ionen-Akkumulatoren verwendet. Deren Lebenszyklus beginnt mit der Gewinnung der notwendigen Rohstoffe, erstreckt sich weiter über den Herstellungsprozess der Fahrzeuge insbesondere auf die Produktion leistungsfähiger Akkumulatoren.

Wie Tabelle 1 zeigt, gibt es neben Gemeinsamkeiten notwendiger Rohstoffe für Elektrofahrzeuge und ihrer Akkumulatoren Unterschiede zu Verbrennungskraftfahrzeugen.

Im Vergleich zu einem Verbrennungskraftfahrzeug mit rund 1.200 teils heißen Einzelteilen besteht ein TESLA Motor aus nur 80 ölfreien Komponenten. Aufbauend auf einem Akkumulator im Fahrzeugboden ist der gesamte Antriebsstrang mit seinen Motoren kompakt zwischen den Achsen verbaut. Alle Komponenten eines batterieelektrischen Kraftfahrzeugs (BEV)

Tab. 1: Rohstoffe für Elektrofahrzeuge und ihre Batterie im Unterschied zu Verbrennungskraftfahrzeugen

Verbrenner	Batterieelektrisches Kraftfahrzeug			
Fahrzeug	Fahrzeug		Akkumulator und Elektromotor	
Eisen	Eisen		Kobalt	Kobalt und Lithium gelten sozial- und umweltbezogen als problematisch. Deshalb ist das Ziel, ihren Einsatzmengen im BEV zu reduzieren, eine umweltfreundlichere Rohstoffgewinnung und ein konsequentes Recycling zu realisieren
Stahl	Stahl		Lithium	
Platin	Kupfer		Mangan	
Kupfer	Aluminium	Leichtbauweise zum Ausgleich eines hohen Batteriegewichts ist erforderlich	Graphit	
Erdöl	Karbon		Kupfer	
	Erdöl		Nickel	
			Platin	
			Bor	
			Kupfer	
			Dysprosium	Seltene Erden für Elektromotoren
			Neodym	

Eigene Darstellung

sind fast vollständig wartungsfrei und damit auch dauerhaft sehr zuverlässig. Das Gewicht einer Elektroauto-Batterie liegt meist zwischen 200 und 700 Kilogramm. Der Akku des Kleinwagens VW e-Up (36,8 kWh Kapazität) wiegt 248 kg, die Batterie eines Tesla Model 3 mit 75 kWh kommt auf 478 Kilo.

Für die Bewertung der Umweltwirkungen ist weiterhin auch der Betrieb der Fahrzeuge zu beurteilen, insbesondere die Herkunft des elektrischen Fahrstromes betreffend. Der Lebenszyklus endet schließlich mit der Entsorgung, verbunden mit einer möglichst hohen Quote des Recyclings der verwendeten Rohstoffe im Fahrzeug einschließlich der des Fahrzeugakkumulators. Konsequenterweise schließt die Betrachtung auch die verwendeten erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen und externen Speichersysteme ein.

Letztlich ist ein neues Denken unserer Mobilität der Zukunft als eine wichtige Komponente in die Betrachtung der Nachhaltigkeit von elektrischen Kraftfahrzeugen einzubeziehen. Bei einer durchschnittlichen Tagesfahrstrecke von 39 km pro Tag in Deutschland (vgl. Kuhnimhof/Nobis 2018, S. 28) stellt

sich die berechtigte Frage, ob heute ca. 47 Millionen fossil betriebene Kraftfahrzeuge in Deutschland zukünftig 1:1 durch individuelle elektrische Kraftfahrzeuge ersetzt werden sollten. Ein neues Verständnis zur Mobilität der Zukunft ist die entscheidende Herausforderung unserer Zeit im Sektor Verkehr. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) ist durch akzeptable Angebote eines nachhaltigen öffentlichen Verkehrs deutlich zu reduzieren. Erst in zweiter Linie sind die technisch-technologischen Alternativen maßgeblich. Zu diesem Thema hat der Autor bereits einen speziellen Beitrag veröffentlicht (vgl. Jeremias 2020). Deshalb soll auf die erforderliche Änderung unseres Mobilitätsverhaltens an dieser Stelle im Weiteren nicht näher eingegangen werden. Vielmehr werden hier einige grundsätzliche Gedanken zum Lebenszyklus von BEV und den zugehörigen Stromspeichern entwickelt. Insbesondere die derzeit in den BEV verwendeten Lithium-Ionen-Speicher erfordern noch einen hohen Strombedarf in der Produktion und auch später beim Recycling der Speicher. Der aktuelle Strommix ist dabei in den meisten Industrieländern noch maßgeblich durch die Verwendung von Vermögensenergien charakterisiert. Der Übergang auf Einkommensenergien wird wohl ein Prozess sein, der je nach Umsetzungsgeschwindigkeit noch zehn bis zwanzig Jahre dauern kann.

Sollten wir also auf Grund dieser Tatsache die Nutzung der batteriebetriebenen Elektromobilität ebenfalls weiter hinausschieben?

Die vorrangige Nutzung von Wasserstoff als Energieträger in der Mobilität würde im Übrigen durch die geringere Energieeffizienz der prozessbedingten Energieumwandlung die Nachfrage nach Strom aus Einkommensenergien deutlich erhöhen. Der Bedarf an „grünem“ Wasserstoff aus eigenem Aufkommen wird absehbar ohnehin nicht für alle Sektoren ausreichend befriedigt werden können.

Zum Energiebedarf und den daraus resultierenden CO₂-Emissionen existieren zahlreiche Untersuchungen und Studien. Am bekanntesten ist die sogenannte „Schwedenstudie“ aus dem Jahr 2017, die im Jahr 2019 überarbeitet wurde (vgl. Emilson/Dahlöf 2019). In der „Schwedenstudie“ wird auf zahlreiche internationale Quellen zurückgegriffen. Bei der „Schwedenstudie“ handelt es sich um eine Literaturstudie zum Life Cycle Assessment von Lithium-Ionen-Batterien in leichten Nutzfahrzeugen. Die Studie aus dem Jahr 2019 untersucht die Treibhausgasemissionen für die Herstellung von Batterien auf der Basis von Nickel-Mangan-Kobalt (NMC-Typ).

Im Lebenszyklus sind weiterhin der Stromverbrauch für den Betrieb der BEV und schließlich auch das Recycling von Fahrzeugen und insbesondere Speichern zu berücksichtigen. Eng verbunden mit der CO₂-Emission bei der

Produktion und Entsorgung von Lithium-Ionen-Batterien ist das Thema der Rohstoffverfügbarkeit, der Nachhaltigkeit ihrer Gewinnung und Bereitstellung.

Weitere Ergebnisse zum Thema sind in den nachfolgenden Untersuchungen dokumentiert.

1. In allen untersuchten Fällen hat das Elektroauto über den gesamten Lebensweg einen Klimavorteil gegenüber den Verbrennern.
2. Mit den Fortschritten bei der Batterieentwicklung insbesondere durch effizientere Fertigungsprozesse, höhere Energiedichte, verbesserte Zellchemie und CO₂-ärmeren Strom bei der Herstellung kann die Klimabilanz der Batterie in den kommenden Jahren mindestens halbiert werden.
3. Der Klimavorteil des Elektroautos wächst, wenn der Ausbau der Erneuerbaren im Rahmen der Energiewende forciert wird; denn die Antriebsenergie ist die wichtigste Einflussgröße auf die Klimabilanz.
4. Die Batteriezell-Fertigung auf Basis eines möglichst hohen Anteils Erneuerbarer Energien, kann europäischen Ländern einen Standortvorteil verschaffen.
5. Mehr Transparenz zur Klimabilanz der Batterien ist Voraussetzung, um weitere Verbesserungspotenziale über den gesamten Lebensweg erschließen zu können.“ (Helms et al. 2019, S. 3)

Eine weitere Studie vergleicht Umweltauswirkungen von Benzin-, Diesel-, Erdgas- und Elektrofahrzeugen mithilfe eines prozessbasierten „Attributional Life Cycle Assessment“ (LCA)³ und der „ReCiPe-Charakterisierungsmethode“⁴, die 18 Wirkungskategorien und die Endpunkte für einzelne Punkte erfasst (vgl. Helmers et al. 2020). Im Gegensatz zur gängigen Praxis wurden die Bestände von der Wiege bis zur Bahre von einem im Labor zerlegten und elektrifizierten VW Caddy abgeleitet, dessen Energieverbrauch unterwegs gemessen wurde. Die Produktion von Batterien mit Photovoltaik anstelle von chinesischem Strom auf Kohlebasis verringert die Klimaauswirkungen der Batterieproduktion um 69 %. Die Gewinnschwelle für den elektrischen VW Caddy, der die Verbrennungsmotormodelle unter verschiedenen Bedingungen hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels überholt, lag zwischen 17.000 und 310.000 km.

3 „Eine Lebenszyklusanalyse (auch bekannt als Umweltbilanz, Ökobilanz oder englisch life cycle assessment bzw. LCA) ist eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges („from cradle to grave“, „von der Wiege bis zur Bahre“)“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Lebenszyklusanalyse> [28.01.2021]).

4 ReCiPe „Mineral resource depletion“: Abschätzung des Ressourcenerschöpfungspotenzials von mineralischen Stoffen.

Die Veröffentlichung vom Fraunhofer ISI legt einen Faktencheck und daraus abgeleiteten Handlungsbedarf vor (vgl. Thielmann 2020). Es werden zwölf Thesen erstellt, die auch die hier behandelte Thematik berühren und fachlich ergänzen.

Im Lebenszyklus der heute verbreiteten Lithium-Batterien spielen insbesondere nachfolgend behandelte Einflussfaktoren auf die Nachhaltigkeit eine große Rolle.

2 Einflussfaktoren auf die Nachhaltigkeit von Stromspeichern in der Elektromobilität

2.1 Der verwendete Strommix

Der verfügbare und verwendete Strommix beeinflusst die CO₂-Emissionen bei der Rohstoffbereitstellung (1), bei der Batteriematerialherstellung (2), bei der Herstellung von Fahrzeug (3) und bei der Batteriezellenfertigung (4), beim Betrieb der Fahrzeuge (5) und beim Recycling von Fahrzeug (6) und Batterie (7).

Die „Schwedenstudie“ schätzt aktuell ein CO₂-Äquivalent von 61 bis 106 kg CO₂äqu/kWh Batteriekapazität in den Phasen (1), (2) und (4). Es wird erwartet, dass sich dieser Wert mit der zukünftigen Nutzung von 100 Prozent „grünem“ Strom weiter deutlich reduzieren lässt. Weiterhin werden neue und innovative Herstellungstechnologien insbesondere in der Batteriezellenfertigung zur Senkung der herstellungs- und produktionsbedingten CO₂-Äquivalente beitragen.

„Die Tesla Gigafactory (Nevada) wird zum Ende des nächsten Jahres (2019) zu 100 % mit erneuerbaren Energien (mit Tesla Solar) betrieben“, so Elon Musk auf „Twitter“ (Musk 2018). Für die im Bau befindliche Gigafactory in Grünheide bei Berlin sind solche Pläne ebenfalls bekannt. Auch der VW-Konzern stellt seine Produktion auf eine nachhaltige Stromversorgung um.

Die Abhängigkeit energiebedingter THG-Emissionen vom verwendeten Strommix und aufgewendeten Strombedarf in der Batterieproduktion untersucht eine weitere Studie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (fE) e.V. aus dem Jahr 2019 (vgl. Regett et al. 2019). Hier werden spezifische CO₂-Äquivalente je kWh an Batteriekapazität zwischen maximal 212 bis 62 kg CO₂ pro kWh Batteriekapazität ermittelt. Der hohe Wert wird für den vorwiegenden Einsatz von Kohlestrom und einem hohen Strombedarf bei der Batterieproduktion ermittelt, der geringe Wert bei energieoptimierter Batterieproduktion und einem Emissionsfaktor für Strom von 0 kg/kWh. Die Ergebnisse decken sich mit den Aussagen der „Schwedenstudie“.

2.2 Rolle der Batteriegröße

Die Größe der im BEV eingesetzten Batterie bestimmt den Bedarf an Rohstoffen und den Stromverbrauch für deren Produktion. Bei der Beobachtung der Entwicklung des aktuellen Marktes für Elektromobilität ist festzustellen, dass sich ein Trend zu großen elektrischen Personenkraftwagen mit Reichweiten abzeichnet, die mit denen der Verbrennungskraftfahrzeuge theoretisch vergleichbar sein sollen. Insbesondere die deutschen Automobilhersteller nehmen hier inzwischen eine führende Rolle ein. Für die 2021 erwartete Modellpalette sind Fahrzeugbatterien im Bereich von 22 kWh (Renault Twingo, 60 kW); über 62 kWh (Skoda Enyac) und 75 kWh (TESLA Modell Y maximale Reichweite), 80 kWh (Mercedes-Benz EQC 400 4MATIC) bis hin zu einer Bruttokapazität von 95 kWh (Audi e-tron advanced 55 quattro) zu finden.

Eine große Reichweite setzt physikalisch also eine große Batteriekapazität voraus, die beim heutigen Stand der Batterietechnologie zwangsläufig zu einem deutlich höheren Material- und Stromverbrauch führt, als das bei kleineren Batterien der Fall ist. Dieser Weg führt nach meiner Einschätzung auf Grund einer vergleichsweise schlechten Öko- und Ressourcenbilanz in eine Sackgasse und die Elektromobilität in negative Schlagzeilen.

Als bekennender, aktiver Elektromobilist mit einem Wohnort ca. 30 km von der nächsten Stadt entfernt und einer täglichen Pendelstrecke von bis zu 70 km kann der Autor aus eigener Erfahrung einschätzen, dass eine (vernünftige) Batteriekapazität im BEV von max. 50 kWh für das notwendige tägliche Pendeln in der Regel völlig ausreichend ist, ca. ein Viertel Reichweitenverlust im Winter ist dabei einkalkuliert.

So verständlich das Interesse der Automobilindustrie sein mag, den Weg von der Verbrennungstechnologie zur Elektromobilität möglichst mit Beibehaltung einer hohen Wertschöpfung in der Automobilherstellung zu gehen, wird eine nachhaltige automobiler Zukunft nicht ohne Änderung des Mobilitätsverhaltens der Menschen zu vollziehen sein. Der Ansatz kann nur lauten, den MIV mit Elektroautos auf die „erste“ und „letzte Meile“ (bis ca. 250 km) zu begrenzen und die Langstrecke mit energieeffizienten öffentlichen Verkehrsmitteln zu bewältigen.

2.3 Verwendeter Strommix beim Betrieb eines BEV

Öffentliche Kritik am BEV äußert sich aktuell in der Tatsache, dass erst nach einer Fahrstrecke von 60.000 km und mehr eine Parität der THG-Emissionen von Verbrenner-Pkw und BEV erreicht wird. Diese Aussage zur notwendigen Fahrleistung hängt maßgeblich von der Größe der untersuchten

Fahrzeuge (siehe Abschnitt 2.2), von deren Verbrauch an Kraftstoff bzw. Elektrizität und vom verwendeten Strommix ab. Letzterer ist heute in vielen Ländern noch durch CO₂-emittierenden Kohlestrom beeinflusst, was zwangsläufig zu einem höheren „CO₂-Rucksack“ des Elektrofahrzeugs führt. Untersuchungsergebnisse zeigen dabei länderspezifische Abhängigkeiten, in denen beispielsweise der Betrieb von BEV in Frankreich (großer Anteil an CO₂-neutralen Atomstrom) und in Norwegen (hoher Wasserkraftanteil) vergleichsweise gut abschneidet (vgl. Hall/Lutsey 2018).

In einer Untersuchung der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e.V. wird dieses Thema genauer dargestellt (vgl. Regett et al. 2019). Es zeigt sich, dass das Elektrofahrzeug im Falle eines Ladens mit dem deutschen Strommix aus dem Jahr 2015 (Emissionsfaktor: 0,58 kg CO₂-äqu/kWh, EE-Anteil: 29 %) ab einer gefahrenen Strecke von ca. 50.000 km aus der Sicht der Emissionen besser abschneidet als ein Benzinfahrzeug. In der Untersuchung des FfE werden Fahrzeuge der Kompaktklasse mit Verbrauchswerten von 5,9 l/100 km (Verbrenner Benzin) und 17,3 kWh/100 km (BEV) verglichen. Die Emissionen in der Betriebsphase wurden auf Well-to-Wheel-Basis⁵ bestimmt und beinhalten folglich auch die Bereitstellung der Brennstoffe und des geladenen Stroms. Der Vergleich startet bei unterschiedlichen Treibhausgasemissionen, die als CO₂-äqu/kWh aus der Produktion der untersuchten Fahrzeuge in Deutschland in die Betrachtung eingebracht werden. Parität wird durch die Nutzung von Strom aus Photovoltaik für den Fahrstrom des BEV bereits bei einer Fahrleistung von ca. 22.000 km erreicht. Das bestätigt die Aussage, dass Produktion und Betrieb von BEV schnellstmöglich auf Einkommensenergie umgestellt werden müssen.

2.4 Lebenszyklus des Akkumulators

Batterien für BEV sind allgemein für 3.000 Zyklen (Be- und Entladen) und mehr ausgelegt. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass der Akkumulator später mit einer verminderten Kapazität auf ca. 80 % dann nicht mehr benutzt werden kann und entsorgt bzw. recycelt werden muss. Autohersteller geben heute in der Regel eine Garantie auf 80 % Mindestkapazität bis 160.000 km bzw. für acht Jahre. Darüber hinaus gibt es heute bereits zahlreiche Einsatzmöglichkeiten für ausgesonderte Fahrzeugbatterien in stationä-

5 Well-to-Wheel (auch: *Well to Wheel*, *Well2Wheel* oder *WTW*, wörtlich: „vom Bohrloch bis zum Rad“) ist eine Betrachtungs- bzw. Analysemethode im Bereich der Kraftfahrzeuge. Dabei wird die gesamte Wirkungskette für die Fortbewegung von der Gewinnung und Bereitstellung der Antriebsenergie bis zur Umwandlung in kinetische Energie untersucht (nach <https://de.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel> [26.01.2021]).

ren Batterieanlagen. Das können stationäre Stromspeicher im Stromnetz, in batteriegestützten Stromversorgungsanlagen (PV-Anlagen)/Notstromanlagen, aber auch batteriegestützte Booster-Ladestationen für Elektrofahrzeuge sein. Letztere werden beispielsweise zunehmend zum Schnellladen von Elektrobussen eingesetzt. Ein weiterer Aspekt zur Verringerung des „CO₂-Rucksackes“ der BEV wird sein, wenn die Akkumulatoren der BEV durch bidirektionales Laden und Entladen in die Stabilisierung der Stromnetze einbezogen werden können. Aktuell wird durch die Automobilindustrie das Thema Vehicle2X thematisiert, das die Nutzung des Fahrzeugakkumulators eines BEV für die Stromnetzstabilisierung (Vehicle2 Grid), für den Betrieb von Haushaltgeräten und zum Zwischenspeichern von Strom aus heimischen PV-Anlagen (Vehicle2Home) sowie für den Betrieb mobiler elektrischer Geräte (Vehicle2Device) umfasst. Dazu hat sich VW positioniert, fordert aber auch die notwendigen Rahmenbedingungen dafür ein. Hyundai will 2021 mit dem Ioniq 5 das erste Modell mit den genannten Funktionen auf den Markt anbieten, zusätzlich mit der Funktion Vehicle2Vehicle, bei dem das BEV direkt ein anderes Fahrzeug laden kann (vgl. Schaal 2021).

Diese sinnvollen Mehrfach- und Nachnutzungen von Fahrzeugakkumulatoren müssen zukünftig dem BEV in Bezug auf dessen THG-Emissionen entsprechend angerechnet werden.

2.5 *Recycling des Akkumulators*

Mit dem Erreichen der Grenznutzungskapazität von Fahrzeugbatterien steht schließlich deren Entsorgung auf der Tagesordnung. Die Nachhaltigkeit gebietet es, die zu entsorgenden Batterien möglichst vollständig zu recyceln, was natürlich wiederum mit einem Energieaufwand verbunden ist, der der Ökobilanz von BEV anzurechnen ist. Das Recycling von Fahrzeugakkumulatoren steht technologisch noch am Anfang und wird in Pilotanlagen erprobt.

In Europa wird eine Kreislaufwirtschaft mit direkter und vollständiger Verwertung des wiederaufbereiteten Materials aus den recycelten Akkumulatoren erforderlich, um den höchsten Nutzen für die Nachhaltigkeit und die Wirtschaftlichkeit zu erzielen. Es sind folgende Stufen eines geschlossenen Recycling-Kreislaufs zu betrachten (vgl. Hackmann 2021):

Lebensende des BEV-Akkumulators → Mechanische Trennung des Akkumulatormaterials → Separation des Kathodenmaterial → Hydromechanische Aufarbeitung metallischer Salze (LiOH, CoSO₄, MnSO₄, NiSO₄) → Synthese des aktiven Kathodenmaterials → Recycling des aktiven Kathodenmaterials → Zellproduktion mit recyceltem Material → Batteriezellenherstellung mit recyceltem Kathodenmaterial → Wiedereinsatz als Akkumulator im BEV

Zwei Unternehmen, die sich das Recycling von Autoakkumulatoren auf die Fahnen geschrieben haben, sind Umicore Antwerpen⁶ und das deutsche Chemieunternehmen Duesenfeld⁷. Letzteres hat derweil eine Technologie im Einsatz, bei der ein Schredder unter Stickstoff gesetzt wird. Darin wird die leicht entzündliche Lithium-Ionen-Batterie zerlegt. Geschreddertes Material und Elektrolyt sind resultierende Fraktionen dieses Prozesses. Aus dem geschredderten Material gewinnt Duesenfeld die einstigen Rohstoffe Graphit, Mangan, Nickel, Kobalt und Lithium. Sie gehen in die (Re-)Produktion, um daraus neue Autoakkumulatoren zu bauen. 96 % aller Batteriebestandteile werden so einem neuen Kreislauf zugeführt; der CO₂-Fußabdruck bei der Produktion neuer Akkus verringert sich um 40 % im Vergleich zur Neuproduktion (vgl. Ingenieur.de 2019).

Die besondere Bedeutung des Akkumulatorenrecyclings besteht also in der Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Mangan u. a. Das muss in Verbindung mit dem Ansatz „Soviel-Auto-wie nötig“ die teilweise nicht unproblematische Gewinnung der Rohstoffe (siehe Abschnitt 1) entlasten und zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität beitragen.

Derzeit fehlt in Europa aber noch eine entsprechend angepasste gesetzliche Regelung. Die aus dem Jahr 2006 stammende EU-Batterieverordnung entspricht nicht mehr den Anforderungen unserer heutigen Zeit (vgl. EU 2006). Für das Recycling gilt danach nach der aktuellen Verordnung:

„TEIL B: RECYCLING

3. Mit den Recyclingverfahren müssen die folgenden Mindesteffizienzen für das Recycling erreicht werden:
 - a) Recycling von 65 % des durchschnittlichen Gewichts von Blei-Säure-Batterien und -Akkumulatoren bei einem Höchstmaß an Recycling des Bleigehalts, das ohne übermäßige Kosten technisch erreichbar ist;
 - b) Recycling von 75 % des durchschnittlichen Gewichts von Nickel-Cadmium-Batterien und -Akkumulatoren bei einem Höchstmaß an Recycling des Cadmiumgehalts, das ohne übermäßige Kosten technisch erreichbar ist;
 - c) Recycling von 50 % des durchschnittlichen Gewichts sonstiger Altbatterien und -Akkumulatoren.“

Lithium-Ionen sind von der Direktive nicht erfasst und die vorgegebene Recyclingquote von 50 % ist deutlich zu niedrig. Eine Gesetzesänderung ist also angezeigt.

⁶ Vgl. <https://csm.umicore.com/en/battery-recycling/e-mobility/> [28.01.2021].

⁷ Vgl. <https://www.duesenfeld.com/recycling.html> [28.01.2021].

3 Innovation und Weiterentwicklung der Akkumulatoren

Die Weiterentwicklung der Akkumulatortechnologie für BEV erstreckt sich auf die folgenden Bereiche:

- Erhöhung der Leistungsdichte,
- Erhöhung der Betriebssicherheit,
- Ersatz problematischer Materialien,
- Verminderung des Energieeinsatzes bei Produktion und Recycling und
- Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Batterien.

Die Fachwelt setzt auf die Entwicklung und den zukünftigen Einsatz des Festkörperakkumulators in der Fahrzeugtechnik im Laufe dieses Jahrzehnts. Diese Entwicklung soll eine höhere Leistungsdichte und damit eine bessere Energie- und Materialeffizienz ermöglichen. Auf Lithium als Elektrolyten soll möglichst verzichtet werden.

Literatur

- Buchal, C.; Karl, H.-D.; Sinn, H.-W. (2019): Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz? In: Ifo Schnelldienst, Jg. 72/Nr. 8 vom 25. April, S. 40–55. – URL: www.ifo.de/DocDL/sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25.pdf
- Emilson, E.; Dahllöf, L. (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production. Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. Stockholm (Swedish Environmental Research Institute Ltd.; Technical Report, No. C444) – DOI: 10.13140/RG.2.2.29735.70562
- EU – Europäische Union (2006): Richtlinie 2006/66/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0066>
- Hackmann, M. (2021): E-Mobility is now Part of Mobility Customer Ecosystem – What are the Main Challenges and Solutions. In: electrive.net LIVE. Die Online-Konferenz für Elektromobilität 27.01.
- Hall, D.; Lutsey, N. (2018): Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions. ICCT-Briefing, February. – URL: <https://theicct.org/publications/EV-battery-manufacturing-emissions>
- Helmers, E.; Dietz, J.; Weiss, M. (2020): Sensitivity Analysis in the Life-Cycle Assessment of Electric vs. Combustion Engine Cars under Approximate Real-World Conditions. In: Sustainability, Vol. 12/No. 3. – URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/1241>; DOI: <https://doi.org/10.3390/su12031241>

- Helms, H.; Kämper, C.; Biemann, K.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Meyer, K. (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Berlin (Agora Verkehrswende). – URL: www.agora-verkehrswende.de. > Projekte > Klimabilanz_von_Elektroautos.pdf
- Ingenieur.de (2019): Batterierecycling: Wie Akkus von Elektroautos recycelt werden. In: Ingenieur.de. Technik – Karriere – News, 08.11. – URL: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/e-mobilitaet/batterierecycling-wie-akkus-von-elektroautos-recycelt-werden/>
- Jeremias, E.-P. (2020): Löst die Elektromobilität unser Klimaproblem im Sektor Verkehr? In: Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e.V., Nr. 40. – URL: https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2020/06/01_Jeremias-Loest-die-Elektromobilitat-unser-Klimaproblem-im-Sektor-Verkehr_final-Korrektur-Pfaff.pdf
- Kuhnimhof, T.; Nobis, C. (2018): Mobilität in Deutschland – MiD. Ergebnisbericht. Berlin. – URL: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf
- Musk, E. (2018): Twitter-Nachricht 26.08.2018. – URL: <https://ecomento.de/2018/09/04/tesla-gigafactory-wird-ab-ende-2019-komplett-mit-erneuerbaren-energien-betrieben/>
- Regett, A.; Mauch, W.; Wagner, U. (2019): Klimabilanz von Elektrofahrzeugen – Ein Plädoyer für mehr Sachlichkeit. München (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.). – URL: <https://www.ffe.de/publikationen/pressemeldungen/856-klimabilanz-von-elektrofahrzeugen-ein-plaedoyer-fuer-mehr-sachlichkeit>
- Schaal, S. (2021): V2G: VW fordert Kooperation von Autobranche, Energiesektor und Politik. In: [electrive.net](https://www.electrive.net). Branchendienst für Elektromobilität, 27.01. – URL: <https://www.electrive.net/2021/01/27/v2g-vw-fordert-kooperation-von-autobranche-energiesektor-und-politik/>
- Schwenner, L. (2020): Sind Elektroautos umweltfreundlicher als Benziner? Planet Wissen, 16.09. – URL: <https://www.planet-wissen.de/video-sind-elektroautos-umweltfreundlicher-als-benziner-100.html> [25.01.2021]
- Thielmann, A.; Wietschel, M.; Funke, S.; Grimm, A.; Hettesheimer, T.; Langkau, S.; Loibl, A.; Moll, C.; Neef, Ch.; Plötz, P.; Sievers, L.; Espinoza, L. T.; Edler, J. (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft? Karlsruhe (ISI – Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung). – URL: www.isi.fraunhofer.de > dam > dokumente > ccct > Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf