

Nachhaltige Entwicklung

Ein zweites Leben für ausgediente
Batterien aus Elektrofahrzeugen

Nachhaltige Entwicklung – ein zweites Leben für ausgediente Batterien aus Elektrofahrzeugen

Derzeit beschäftigt sich die Gesellschaft, die Politik und die Industrie mit der allgegenwärtigen Fragestellung »Was soll mit den alten Batterien von Elektrofahrzeugen geschehen, wenn die Fahrzeuge nicht mehr zuverlässig genug sind, oder sie ihr Nutzungsende erreicht haben?« Dieser Fragestellung sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer LBF unter Leitung des Nachhaltigkeitsexperten Dr. Dominik Spancken und Dipl.-Ing. Eva Stelter nachgegangen, um die Thematik strukturiert zu untersuchen. Meist können ausgemusterte noch voll funktionstüchtige Batterien ein zweites Leben erhalten und zum Beispiel in stationären Energiespeichern genutzt werden. Somit blieben die ressourcenintensiven Batteriezellen nachhaltig und so lange wie möglich im Einsatz. Doch so einfach gestaltet sich die alternative Nutzung von Batterien meist noch nicht und wird durch gesellschaftliche, politische, wirtschaftliche und technische Herausforderungen stark beeinflusst. Damit ein erfolgreicher nachhaltiger Transformationsprozess möglich wird, müssen alle Aspekte sorgfältig analysiert und berücksichtigt werden, um eine nachhaltige und wirtschaftliche Lösung zu finden, die dem Allgemeinwohl dient. Wie dies gelingen kann, lesen Sie in dieser Studie.

E-Mobilität in der Bundesrepublik Deutschland

In der Bundesrepublik Deutschland sind 2024 circa 1,4 Millionen rein batterieelektrische Fahrzeuge zugelassen [1]. Dies entspricht einer installierten Batteriekapazität von circa 50 GWh [2]. Für die E-Mobilität bestehen Wachstumsraten der Zulassungszahlen im mittleren zweistelligen Prozentbereich. Die Vorteile von batterieelektrischen Fahrzeugen sind deren lokale Emissionsfreiheit und wenn mit regenerativ erzeugtem Strom betrieben, klimaneutral. Für den Nutzer von batterieelektrischen Fahrzeugen bestehen derzeit noch eine Vielzahl an finanziellen Anreizen wie zum Beispiel das kostenlose Laden mit selbst erzeugtem Solarstrom, Befreiung von der Kfz-Steuer, THG-Quotenhandel und geringere Betriebskosten durch deutlich längere Wartungsintervalle im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Motivation

Allerdings bestehen auch noch nicht im Detail gelöste Fragestellungen der Elektromobilität. Eine davon ist: Wie wird das großvolumige Recycling der Karosserie, des Antriebs und der Batterie zukünftig bewerkstelligt? Das Recycling der Batterie stellt derzeit die größte Herausforderung dar. Die Batterien weisen am Ende ihrer Nutzungsphase je nach Beanspruchung sowie der unterschiedlichen Leistungsaufnahme und

Leistungsabgabe einen State of Health (SOH, Grad der Verschlechterung und die verbleibende Kapazität der Batterie) von 80 bis 90 Prozent auf. Dadurch weisen die Batterien eine geringere Kapazität und verlangsamte Leistungsaufnahme und Leistungsabgabe auf. Dies wirkt sich im Wesentlichen auf die Reichweite und auf die Schnellladefähigkeit aus. Das bedeutet aber nicht, dass diese Batterien für andere Anwendungen, bei der die Energiedichte oder die Schnellladefähigkeit eine untergeordnete Rolle spielen, nicht geeignet sind. Diese Batterien können nach dem ersten Lebenszyklus in eine 2nd-Life Anwendung als stationärer Speicher umgebaut werden, wo diese gebrauchten Batteriezellen anstatt von neuen Batteriezellen eingesetzt werden. Daher ist die 2nd-Life Anwendung als stationärer Stromspeicher eine nachhaltige und ressourcenschonende Lösung. Welche Potenziale in dieser nachhaltigen Lösung stecken, ist in dieser Studie anhand von Experteninterviews mit Akteuren aus Politik, Energiewirtschaft, Batterierecyclern und Herstellern untersucht worden.

Wie ist die aktuelle Marktsituation?

Gegenwärtig beträgt die Zellfertigung in Bundesrepublik Deutschland 83 GWh pro Jahr (2023) und könnte bis 2030 um das Fünffache, auf ca. 400 GWh pro Jahr, gesteigert werden [3]. Damit wird der gesteigerten Produktion und den Zulassungszahlen von batterieelektrischen Fahrzeugen Rechnung

getragen. Gleichzeitig weist eine Studie von Goldman Sachs [4] aus, dass bis zum Jahr 2030 die Zellkosten je Kilowatt im Durchschnitt um 11 Prozent jährlich sinken werden. Dies wird durch technologische Weiterentwicklung und effizientere Materialausnutzung erreicht, denn zukünftig lässt sich die gleiche Leistungsdichte mit einem geringeren Einsatz von Ressourcen und Rohstoffen bewerkstelligen. Weiter steigert der sogenannte Cell to Pack Aufbau die Wirtschaftlichkeit der Batterie. Dabei werden die Zellen direkt im Batteriegehäuse angeordnet, in geeigneter Reihen- und Parallelschaltung miteinander verbunden, wodurch auf ein zusätzliches Modulgehäuse verzichtet werden kann.

Welche Zellchemie wird eingesetzt?

Für Anwendung in der Mobilität werden überwiegend Batteriezellen mit der Zellchemie aus Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt (NMC) und Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator (LFP) verwendet. Dabei enthalten die drei Phasen (positive Elektrode, negative Elektrode und der Elektrolyt) Lithiumionen. Die Batteriezellen auf Basis NMC oder LFP weisen eine hohe Energiedichte von 100 bis 250 Wh/kg und 1.000 bis 2000 Ladezyklen (LFP sogar 2000 und mehr) auf. Die Automobilhersteller legen die Wahl der Zellchemie zum Beispiel hinsichtlich ökonomischer

(regionaler Verfügbarkeit, lokaler Förderung, Stückzahlen), technischer (Einsatzspektrum, Leistungsdichte, Lebensdauer) und unternehmensspezifischer Gesichtspunkte fest.

Welche Zelltypen werden für die Mobilitätsanwendungen genutzt?

Am wirtschaftlichsten ist die Herstellung von Rundzellen. Die gängigsten Formate sind 18650 (Durchmesser 18 mm und Länge 65 mm) bis 46125 (Durchmesser 46 mm und Länge 125 mm). Die 46125 Zelle besitzen eine höhere Kapazität, kürzere Ladezeiten, höhere Energiedichte und performt in hoch beanspruchten Anwendungen besser als die 18650 Zelle. Zukünftig wird sich der Trend in batterieelektrischen Fahrzeugen weg von vielen kleinen Zellen hin zu weniger großer Zellen entwickeln. Die einzelnen Zellen werden in geeigneter Reihen- und Parallelschaltung miteinander verbunden und in Modulen zusammengefasst, welche in einem Batteriegehäuse die Gesamtbatterie darstellen. Derzeit ist die Tendenz diejenige, dass man sich von der Zusammenfassung zu Modulen abwendet und die Zellen im Cell to Pack Aufbau direkt im Batteriegehäuse aufbaut. Dadurch lässt sich die Wirtschaftlichkeit erhöhen, Bauteile und Gewicht sparen und ein höheres Leistungsvolumen installieren. Eine Reparierbarkeit oder die Überführung der Zellen in eine

2nd-Life Anwendung ist durch den Cell to Pack Aufbau nur sehr schwer möglich, denn die Zellen lassen sich nur durch sehr hohen Aufwand zerstörungsfrei voneinander separieren oder austauschen.

Repurposing und Recycling

Lässt sich die Batterie eines batterieelektrischen Fahrzeuges aus technischen Gründen nicht mehr verwenden, wird im Regelfall nach den folgenden Schritten vorgegangen:

- Deaktivierung und Entladung der Batterie und Demontage vom Fahrzeug
- Demontage der Batterie
 - Modulebene → 2nd-Life Anwendung
 - Zellebene → Recycling
- Mechanische Trennverfahren der Batteriezellen wie Schreddern, Sieben, Sortieren zum Gewinnen der sogenannten Schwarzen Masse. Die Schwarze Masse enthält in Abhängigkeit der Zellchemie hochwertige Kathodenmaterialien wie Lithium, Nickel, Kobalt und Mangan
- Elektrolytrückgewinnung
- Hydrometallurgische Prozesse zur Materialtrennung der Schwarzen Masse
- Pyrometallurgische Prozesse zur Materialtrennung der Schwarzen Masse

Wenn die Batterie beim Recycler demontiert wird, müssen möglichst alle qualitätsbeschreibenden Kennwerte vorliegen. Basierend darauf kann entschieden werden, ob die Module für eine 2nd-Life Anwendung geeignet sind oder diese für das Recycling möglichst bis auf Zellebene zerlegt werden müssen. Die Batterieverordnung [5] sieht zukünftig vor, dass jede Batterie einen Batteriepass besitzt, indem beispielsweise Informationen der enthaltenen Materialien, des SOH, der Reparierbarkeit, der Umnutzung, des Zerlegungsvorganges oder dem Recyclingverfahren enthalten sind. Um Zellen einer 2nd-Life Anwendung besser zuordnen zu können ist der Zugriff auf das Batteriemanagement System (BMS) und die Ablesbarkeit von essenziellen Informationen von zentraler Notwendigkeit. Damit kann auf kritische Systemzustände oder das Lastprofil in der Anwendungsphase geschlossen werden. Derzeit ist aber überwiegend der Zugriff auf die BMS-Daten nur durch den Hersteller selbst möglich.

Momentan ist unter anderem die Entwicklung einer Kurzzeitbewertungsmethode des SOH's anhand physikalischer Messgrößen mittels künstlicher Intelligenz Gegenstand der Forschung. Weiter fehlt es auch an Langzeiterfahrungen, welcher SOH für eine 2nd-Life Anwendung geeignet ist und wie sich der SOH in der 2nd-Life Anwendung weiter entwickelt. Ein derzeit zu Verfügung stehendes Verfahren zur

Zellbewertung ist, Zelle oder Module einer Kapazitätsmessung zu unterziehen. Dazu werden drei Be- und Entladezyklen mit definierten Laderaten (C-Raten) durchgeführt. Die Dauer einer solcher Untersuchung beträgt circa 24 Stunden und muss unter aufwändigen Sicherheitsvorkehrungen durchgeführt werden. Dadurch belaufen sich die Kosten einer solcher Untersuchungen auf 500 bis 1.000 Euro und sind daher nur für ausreichend große und wertvolle Module wirtschaftlich [6].

Mit der Elektrolytrückgewinnung, der Hydrometallurgie und der Pyrometallurgie lassen sich 90 Prozent der in den Zellen enthaltenen Materialien wie Kupfer, Aluminium, Graphit, Mangan, Nickel, Kobalt und Lithium werkstofflich recyceln und rückgewinnen. Allerdings sind die Hydrometallurgie und die Pyrometallurgie sehr energie- und ressourcenintensive Prozesse. Diese benötigen erhebliche Mengen an Energie, Druck, Wasser, Kühlwasser und Chemikalien, um die einzelnen Elemente auszulösen und stoffrein zu trennen. Trotz des hohen Energie- und Ressourcenaufwandes ist das Recycling und die Rückgewinnung der Materialien die nachhaltigere Lösung gegenüber der Verhüttung von neuem Material. Somit werden zum Beispiel in den jeweiligen möglichen Abbauorten Lebensräume und Kulturen der indigenen Bevölkerung sowie schützenswerte und natürliche Lebensräume geschont.

Von verschiedenen Akteuren (z. B. Umicore, BASF, Northvolt, Mercedes-Benz, oder Volkswagen) werden derzeit Recyclingkapazitäten aufgebaut und die Recyclingverfahren technologisch weiterentwickelt. Es wird davon ausgegangen, dass die derzeit betriebenen Anlagen ab dem Jahr 2030 bei einem höheren Aufkommen an zu recycelnden Batterien ausgelastet sein werden. Derzeit verarbeiten diese lediglich die Verarbeitungsabfälle oder Nebenprodukte der Batteriefabriken und nur wenige ausgemusterte Batterien. Dabei ist ein beachtlicher Anteil von Zellen dazu geeignet, diese in eine 2nd-Life Anwendung überführen zu können. Als stationärer Stromspeicher können diese 2nd-Life Zellen einen Beitrag zur Stromspeicher-Strategie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) beitragen.

Speichertechnologien

Das BMWK hat im Dezember 2023 [7] in einer Stromspeicher-Strategie die Handlungsfelder und Maßnahmen für eine anhaltende Ausbaudynamik und optimale Systemintegration von Stromspeichern veröffentlicht. Damit sollen die stark steigenden Anteile aus Windkraft und Photovoltaik in das Stromnetz integriert werden. Dabei spielen Stromspeicher als Energiespeicher und für die Stabilisierung des Stromsystems und des Stromnetzes eine entscheidende Rolle. Dazu unterstützt das BMWK mit der Stromspeicher-Strategie den Hochlauf und die Integration der Stromspeicher als Kurzzeitspeicher.

Abb. 1: Anordnung der Batteriezellen in Modulen.



Bei Stromspeichern wird in die kurzzeitige und langzeitige Speicherung differenziert.

Die langzeitige Speicherung von Strom hat das Ziel, diesen für die Überbrückung der Wintermonate zu nutzen. Dazu können beispielsweise Überschüsse von Photovoltaik aus dem Sommer genutzt werden, indem dieser zu Wasserstoff umgewandelt und in verschiedenen Wärmekraftprozessen zur Energieerzeugung genutzt wird. Diesen Strom in Batteriespeicher zu laden erfordert eine immens hohe Anzahl an Speichern und ist durch eine hohe Verlustleistung durch Selbstentladung der Zellen unwirtschaftlich.

Kurzzeitige Speicherung bedeutet in diesem Kontext, die tagsüber erzeugten Überschüsse für Spitzenlasten oder die Dunkelfase in der Nacht zu nutzen. Hierzu werden stationäre Batteriespeichersysteme für Privathaushalte, Gewerbe und Netzbetreiber benötigt, die bedarfsgerecht in Echtzeit mit einer hohen Dynamik reagieren. Pumpspeicherkraftwerke sind dazu ebenso geeignet, sind aber in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund der begrenzten Höhenlage und der landschaftlichen Zerschneidung am Ausbaulimit angelangt.

Stationärer Speicher

Stationäre Stromspeicher in Privathaushalten haben durchschnittlich eine Kapazität von 8,8 kWh [8] und von der Industrie (Gewerbe oder Energieversorger) genutzte Stromspeicher weisen eine Größe von bis zu 4.000 kWh auf [9]. Der stationäre industrielle Großspeicher wird kalkulatorisch auf eine Nutzungsdauer von 10 Jahren betrieben. Im Jahr 2023 müssen für einen stationären Speicher mit Neuzellen der Größe von 500 kWh mit 1.000 bis 1.200 Euro je installiertem Kilowatt für das gesamte Batteriesystem gerechnet werden [10]. Darin sind sämtliche Fixkosten wie zum Beispiel die Standortertüchtigung, die Infrastruktur, die Hardware (Zellen, Wechselrichter) und dem Brandschutz enthalten. Dabei müssen zwischen 500 und 600 Euro je Kilowatt allein für die Neuzellen aufgewendet werden.

Geschäftsmodelle

Für Privathaushalte, Industriebetriebe oder Energieversorger bestehen unterschiedliche Arten von Geschäftsmodellen.

Privathaushalte speichern den tagsüber erzeugten Photovoltaikstrom, um diesen in Phasen ohne Sonneneinstrahlung zum Eigenverbrauch zu nutzen. So lässt sich mit ausreichend großen Photovoltaikanlagen ein hoher Autarkiegrad erreichen und somit Kosten einsparen.

Industriebetriebe mit einem hohen Strombedarf melden dem Netzversorger den prognostizierten Verbrauch und Spitzenlasten im tageszeitlichen Verlauf, woraus sich deren Strompreis berechnet. Durch den Betrieb eines ausreichend großen Speichers lassen sich die Spitzenlasten selbst abdecken, was zu geringeren Kosten führt. Tagsüber wird der Speicher mit eigenem Solarstrom oder zu Zeiten eines niedrigen Stromtarifes geladen.

Für **Energieversorger** ergeben sich mehrere Geschäftsfelder. Der Speicher beliefert in der Phase ohne Sonneneinstrahlung die Haushalte mit Strom. Dieses Geschäftsfeld amortisiert sich bei den hohen Speicherkosten erst nach sehr langer Zeit [10]. Deutlich wirtschaftlicher ist dabei der Handel am Intraday Market. Weiter werden durch Lizenznahmen zum Bereitstellen von sofort verfügbarer Netzleistung zum Abfedern von Spitzenlasten und dem Verkauf des Stroms der höchste wirtschaftliche Ertrag generiert.

Daher ist es wirtschaftlich und rohstoffpolitisch von Vorteil, einen hohen Anteil an Zellen zu recyceln. Weiter sieht der Entwurf der Batterieverordnung [5] Recyclingquoten und den Einsatz von Recyclingmaterial (Lithium, Kobalt, Kupfer, Nickel und Blei) aus alten Zellen für die Herstellung neuer Zellen vor. Beispielsweise sollen beim Recycling alter Zellen 2028 50 Prozent Lithium und 2032 80 Prozent Lithium zurückgewonnen werden. Die Recyclingquote steht der 2nd Life Anwendung zunächst einmal entgegen. Weiter würde durch eine 2nd-Life Anwendung das in den Zellen gebundene Material für die Dauer der 2nd-Life Anwendung nicht zur Verfügung stehen. Die Batterieverordnung schafft insbesondere durch den Batteriepass die Grundlage, geeignete Zellen in eine 2nd-Life Anwendung zu bringen.

Zukünftig kann sich auch eine andere Zellchemie oder auch eine Feststoffbatterie durchsetzen. Beispielsweise weist die Zellchemie Natrium-Ionen (engl. Sodium-Ion Battery SIB) zwar im Vergleich zu Lithium-Ionen eine geringere Energiedichte auf, ist aber zyklusfester, nicht brennbar und deutlich kostengünstiger. Weiter ist man durch die Verwendung von Natrium unabhängig von weltweiten Lithium Lieferanten. Die Natrium-Ionen-Zellchemie ist daher für stationäre Speicher potenziell interessant. Derzeit wird an der Erhöhung der Leistungsdichte und an effizienten Herstellprozessen geforscht. Erste Fahrzeuge aus dem asiatischen Raum sind schon mit Batterien auf Basis der Natrium-Ionen Zellchemie ausgestattet worden. Der chinesische Hersteller JAC produziert seit Dezember 2023 die ersten Elektroautos mit Natrium-Ionen-Akku in Serie [11].

Abb. 2: Dismantling der Batterien von Elektrofahrzeugen für eine 2nd-Life Anwendung.



Zukünftige Entwicklung

Die erfolgreiche 2nd-Life Anwendung wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Die Module müssen demontiert, hinsichtlich des Zustandes bewertet, geeignet zusammengefasst (Modell, Zellgröße, Zellchemie, Baujahr, SOH, Leistung) und in ein Speichersystem integriert werden. Dabei müssen die 2nd-Life Zellen deutlich unter den Kosten von 500 bis 600 Euro je Kilowatt der Neuzellen liegen, wobei mit einer jährlichen Kostenreduktion der Neuzellen von 11 Prozent bis zum Jahr 2030 zu rechnen und zu berücksichtigen ist. Hinzu kommen Kosten für die Bewertung der Zellen hinsichtlich deren Alterungszustand und SOH. Damit derzeit 2nd-Life Zellen aus wirtschaftlichen Gründen eingesetzt werden, müssen die Kosten je nach Zellqualität und Modulgröße zwischen 50 Euro und 100 Euro je Kilowatt liegen. Ansonsten lassen sich die Risiken geringer Kapazität, kürzerer Lebensdauer, Performanceeinbußen oder erhöhte Sicherheitsmaßnahmen nicht kompensieren.

Zukünftig wird durch die technologische und effizientere Weiterentwicklung der Zellfertigung ein geringerer Rohstoffbedarf notwendig sein, um die gleiche Leistungsdichte zu erzielen.

Abschließende nachhaltige Betrachtung

Der Einsatz von bereits genutzten Batteriezellen aus ehemaligen Traktionspeichern in 2nd-Life Anwendungen ist ein komplexer Transformationsprozess. Um diesen zu bewältigen, bedarf es einer transdisziplinären Herangehensweise, um die relevanten Herausforderungen und Fragestellungen in ihrer Komplexität zu erörtern. Dabei müssen die unterschiedlichsten Sichtweisen verschiedener Wissenschaftsdisziplinen hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Aspekte berücksichtigt werden. Wiederum muss der Transformationsprozess durch dynamische Entwicklung angepasst werden, um neu entstandenen oder aktuellen Herausforderungen gerecht zu werden. Bei dieser Nachhaltigkeitstransformation müssen technische- und soziale Aspekte in Einklang gebracht, um eine am Gemeinwohl orientierte Lösung der zu erreichen.

Ökonomie

Aus ökonomischen Gesichtspunkten entwickelt sich die Batteriezellenfertigung immer weiter zu effizienteren Prozessen, womit es möglich wird die Energiedichte zu erhöhen und mit deutlich geringerem Rohstoffeinsatz auszukommen. Weiter

wird an neuer Zellchemie geforscht, um die Zellkosten zu senken und mit einfacher zur Verfügung stehenden Materialien auszukommen. Gleichzeitig entwickeln sich Recyclingprozesse weiter, damit möglichst alle Rohstoffe in hohen Quoten und idealerweise in hoher Qualität zurückgewonnen werden können. Daher kann es aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten interessanter sein, Zellen mit ungewissem Performanceverhalten oder Alterungszustand bevorzugt zu recyceln und die Rohstoffe an anderer Stelle in Neuzellen effizienter zu nutzen. Weiter ist es derzeit fraglich, ob und wie Zellen aus dem derzeitigen »Cell to Pack« Aufbau überhaupt in eine 2nd-Life Anwendung überführt werden. Dennoch wird es einzelne Nischenanwendungen geben, in denen sich Geschäftsmodelle etablieren die 2nd-Life Zellen einsetzen werden.

Ökologie

Aus ökologischen Aspekten ist es sinnvoll die Batterie eines batterieelektrischen Fahrzeuges so lange wie technisch möglich in Verwendung zu halten. Im Idealfall tritt das Lebensende der Batterie zeitgleich mit dem des restlichen Fahrzeuges auf und alle Bestandteile werden einem effizienten Recycling zugeführt. Wird die Batterie im Fahrzeugleben ausgetauscht und besitzt diese noch einen ausreichenden SOH, soll diese in eine 2nd-Life Anwendung überführt werden. Diese können beispielsweise in stationären Stromspeichern eingesetzt werden,

die Überschüsse aus Solar- und Windenergie speichern und zu Spitzenzeiten oder in Phasen ohne Sonneneinstrahlung abgeben. Dies ist ein wichtiger Beitrag zum nachhaltigen Aus- und Umbau der Energieinfrastruktur.

Ein Recycling von alten Zellen ist ökologisch von zentraler Bedeutung, um Werkstoffe und Materialien im Kreislauf zu führen. Durch ausreichend qualitativ hochwertiges Recyclingmaterial am Markt reduzieren sich die neu zu fördernden Mengen. Der Energiebedarf für die Förderung und Verhüttung von neuem Material ist meist um ein Vielfaches höher als eine Kreislaufführung. Weiter werden durch die geringere Ausbeutung von Bodenschätzen und Verringerung der Förderstätten natürliche Lebensräume und Kulturen geschont.

Durch eine Optimierung und Effizienzsteigerung von Fertigungsprozessen wird es zukünftig möglich sein, Zellen gleicher Energiedichte mit einem deutlich geringeren Energie- und Ressourcenaufwand herzustellen. Technologische Weiterentwicklungen in den nächsten Jahrzehnten werden Zelltechnologien zur Marktreife verhelfen, die mit einem deutlich geringerem Ressourcenaufwand und somit auch geringeren Kosten hergestellt werden.

Abb. 3: Anordnung der Batteriezellen im Zellhalter.

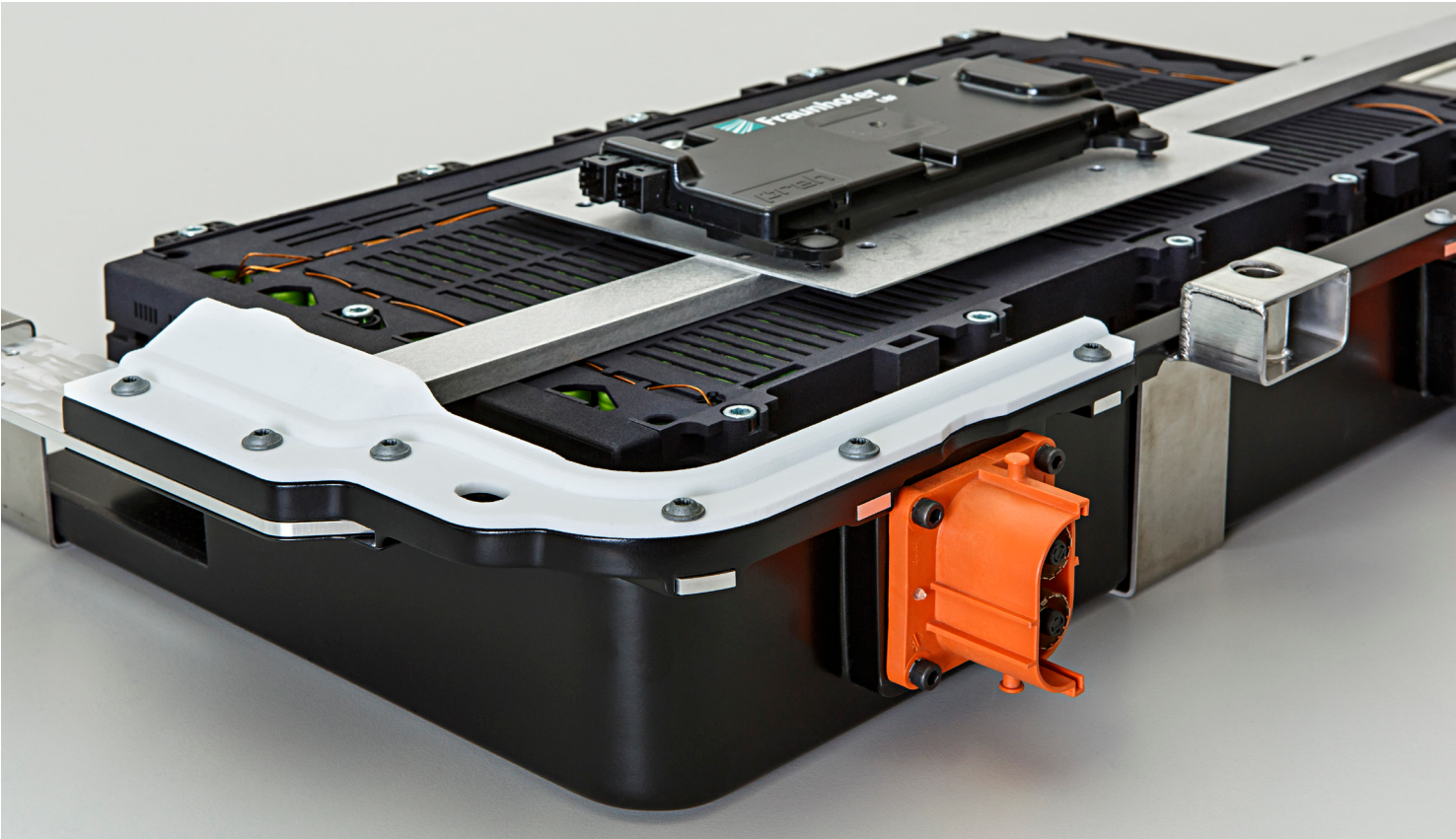
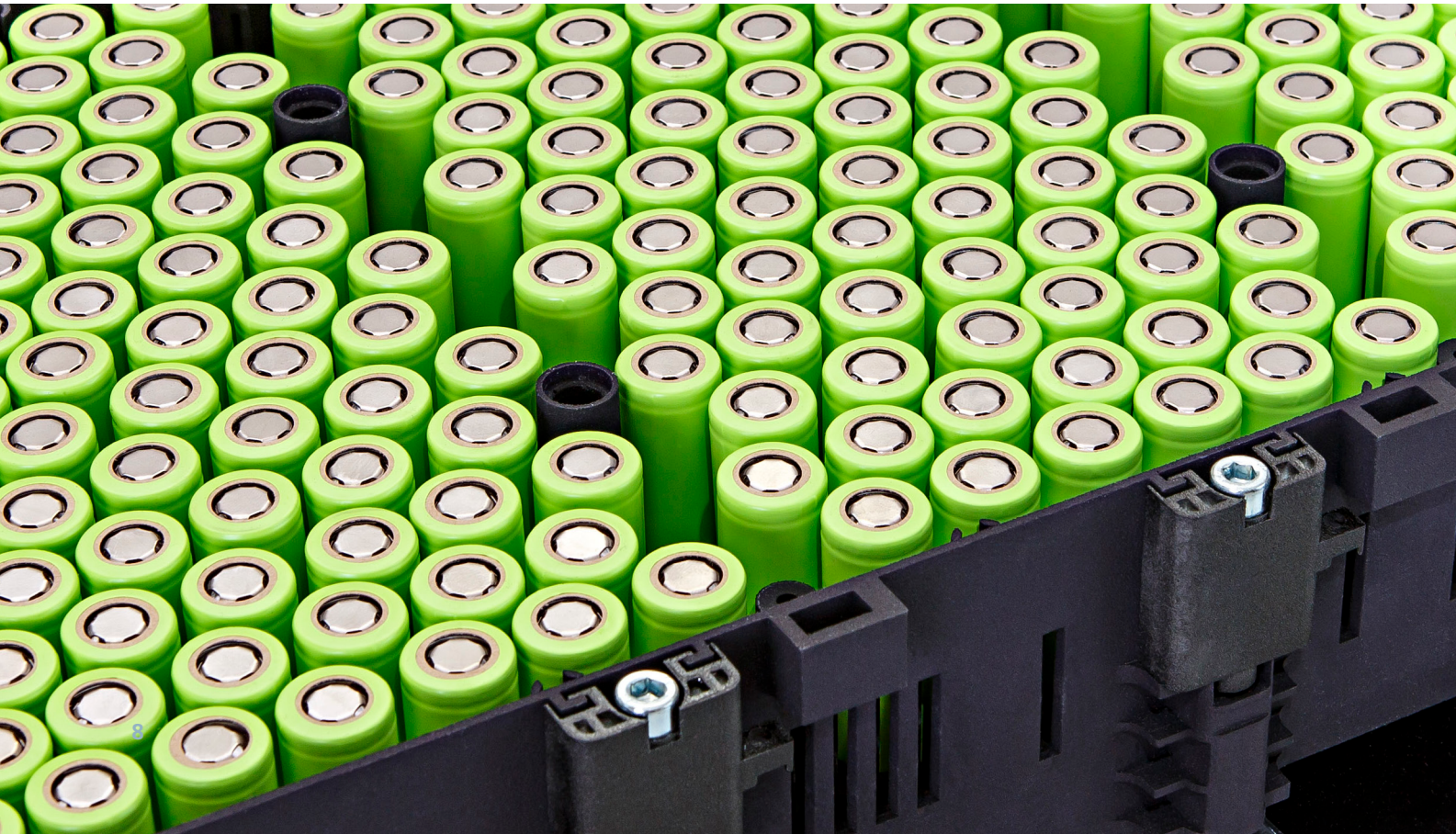


Abb. 4: Aufbau der Batterie in Modulbauweise mit Crash-Streben, Batteriemanagementsystem und den elektrischen Anschlüssen.

Gesellschaft

Die Gesellschaft erwartet von batterieelektrischen Fahrzeugen einen emissionsfreien und wenn mit regenerativ erzeugtem Strom einen klimaneutralen Betrieb. Ebenso wird für noch funktionstüchtige Komponenten am Lebensende der Fahrzeuge ein effizientes Recycling oder Umnutzungskonzept erwartet. Verschiedene Akteure wie Nutzer, Hersteller oder Politik entscheiden sich oft aufgrund von zu geringen ökonomischen oder technischen Aspekten gegen die Verwendung von 2nd-Life Anwendungen. Durch einen politischen Eingriff an dieser Stelle wie zum Beispiel mit der Batterieverordnung wird ein Rahmen mit zahlreichen Freiheitsgraden aufgezeigt, mit dem es langfristig gelingen kann, dass sich verschiedene nachhaltige 2nd-Life Anwendungen weiterentwickeln können.

Der Umbau des Stromnetzes und die bedarfsgerechte Integration des regenerativ erzeugten Stroms ist eine gesellschaftliche Herausforderung, die wir in den nächsten Jahren bis Jahrzehnten bewältigen müssen. Stationäre Stromspeicher können dazu einen großen Beitrag leisten, Überschüsse in Bedarfszeiten

bereit zu stellen. Wenn in den Stromspeichern noch funktionsfähige 2nd-Life Zellen eingesetzt werden, ist dies eine nachhaltige und durchaus wirtschaftliche Alternative gegenüber der Verwendung von Neuzellen.

Von besonderem Interesse ist, die Rohstoffe aus alten Batteriezellen zu recyceln und in neuen Zellen wieder einzusetzen. Dadurch werden Abhängigkeiten von Rohstofflieferanten verringert. Zukünftig werden Zelltechnologien entwickelt, die auf lokal verfügbaren Rohstoffen beruhen und höchsteffiziente sowie klimaneutrale Herstellverfahren benötigen.

Zusammenfassend ist die 2nd-Life Anwendung von bereits genutzten Batteriezellen in stationären Energiespeichern eine zu bevorzugende nachhaltige und ressourcenschonende Lösung. Zellen bei denen eine 2nd-Life Anwendung aus technischen Gesichtspunkten nicht möglich ist, sollen einem effizienten Recyclingprozess zugeführt werden. Langfristig werden durch effizientere Herstellprozesse die Zellkosten sinken. Gleichzeitig wird sich die Energiedichte erhöhen sowie

die Zellalterung und die Nutzungseigenschaften verbessern. Dabei werden auch neue ressourceneffiziente und nachhaltige Zellchemien so weit entwickelt, dass diese hinsichtlich deren Performance etablierte, ressourcenaufwändige Zellchemien ersetzen können.

»Zukünftig wird die Menge an Batteriezellen zunehmen, die in einer 2nd-Life Anwendung eingesetzt werden. Gleichzeitig muss aber auch eine ausreichende Menge von alten Batteriezellen recycelt werden, um die Rohstoffe in effizienteren und neuen Zelltechnologien einzusetzen.«

Dr. rer. sust. Dominik Spancken

Mehr Informationen zum CIRCULUS-Projekt

www.lbf.fraunhofer.de/circulus



Quellen

[1] Anzahl Elektroautos in Deutschland 2024 | Statista (Einsicht: 07.05.2024 13.00 Uhr).

[2] E-Fahrzeug als Heimspeicher nutzen: Fraunhofer ISE erstellt Leitfaden zum bidirektionalen Laden – Fraunhofer ISE (Einsicht: 07.05.2024 13.00 Uhr).

[3] Europäische Batteriezellfertigung: Verzehnfachung der Produktionskapazitäten bis 2030. (Einsicht: 11.04.2024 11.50 Uhr).

[4] Electric vehicle battery prices are falling faster than expected (goldmansachs.com) (Einsicht: 12.04.2024 14.00 Uhr).

[5] Amtsblatt der Europäischen Union L 191/1; VERORDNUNG (EU) 2023/1542 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 (2023).

[6] Persönliche Mitteilung von Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg im Circulus Projekt vom 08.12.2024.

[7] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Stromspeicher-Strategie – Handlungsfelder und Maßnahmen für eine anhaltende Ausbaudynamik und optimale Systemintegration von Stromspeichern, 2023.

[8] BSW Solar, Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Speicher/Mobilität), Januar 2024.

[9] www.cegasa.com/de (Einsicht: 07.05.2024 14.00 Uhr).

[10] Persönliche Mitteilung von E-Netze im Circulus Projekt vom 07.03.2024.

[11] E-Auto mit Natrium-Akku: JAC Yiwei Sehol E10X | AUTO MOTOR UND SPORT (auto-motor-und-sport.de) (Einsicht: 07.05.2024 14.00 Uhr).

Kontakt

Dr. rer. sust. Dominik Spancken
Ressourceneffiziente Composite
Telefon +49 6151 705-412
Mobil +49 162 2430620
dominik.spancken@lbf.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Eva-Maria Stelter
Numerische Systemanalyse
Telefon +49 6151 705-8265
eva-maria.stelter@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstr. 47
64289 Darmstadt
www.lbf.fraunhofer.de

[doi:10.24406/publica-3042](https://doi.org/10.24406/publica-3042)

© Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt, 2024