



i-vector
innovations
management
gmbh

*Studie „Neue Wertschöpfungspotentiale
in der Kreislaufwirtschaft von Kompo-
nenten in E-Fahrzeugen“ im Rahmen
des BMWK-geförderten Projektes „Regi-
onales Transformationsnetzwerk Berlin-
Brandenburg“ (ReTraNetz-BB)*

Befunde und Analyseergebnisse

Studie im Auftrag der bbw Hochschule

i-vector Innovationsmanagement GmbH, Rohrdamm 88, 13629 Berlin

Autoren: Carl-Ernst Forchert, Angela Blume, Marcus Scholz

Berlin, im Oktober 2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abkürzungsverzeichnis	iii
Zusammenfassung	- 1 -
Auftrag und Vorgehen	- 3 -
1 Wertschöpfungspotentiale in der Kreislaufwirtschaft der Elektromobilität	- 7 -
1.1 Charakteristische Systemkomponenten	- 7 -
1.1.1 Batteriesystem	- 7 -
1.1.2 Elektromotor	- 9 -
1.1.3 Hochvoltbordnetz	- 9 -
1.2 Das Markt- und Branchenumfeld der Elektromobilität	- 9 -
1.3 Regulativer Rahmen der Europäischen Union und der Bundesregierung	- 11 -
1.4 Stellenwert der Kreislaufwirtschaft in industriepolitischen Strategie- und Planungsdokumenten der Länder	- 15 -
1.5 Akteure im Untersuchungsraum	- 17 -
1.5.1 Verteilung geographisch	- 17 -
1.5.2 Verteilung technisch-sektoral	- 18 -
1.5.3 Beispielgebende Akteure und Projekte der Kreislaufwirtschaft	- 18 -
1.6 Aktuelle Entwicklung im Teilmarkt des Batterie-Recyclings	- 19 -
1.7 Good-Practice von Ansätzen der Kreislaufwirtschaft	- 21 -
2 Erfassung von Bedarfen und Interessen der Beteiligten	- 24 -
2.1 Status quo Kreislaufwirtschaft von Komponenten in Elektro-Fahrzeugen	- 24 -
2.2 Potentiale für Geschäftsmodelle in der Kreislaufwirtschaft	- 26 -
2.2.1 Ökonomische Perspektive	- 26 -
2.2.2 Sozio-ökonomische Perspektive	- 29 -
2.2.3 Fokusbetrachtung Batteriesystem	- 32 -
2.2.4 Fokusbetrachtung Elektromotor	- 34 -
2.2.5 Fokusbetrachtung Hochvoltbordnetz	- 36 -
2.2.6 Fokusbetrachtung Produktionssystem für Leichtfahrzeuge und Wechselakkusysteme	- 38 -
2.3 Entwicklungs- und Forschungsbedarf	- 40 -
2.3.1 FuE-Bedarfe zum Batteriesystem	- 40 -

2.3.2	FuE-Bedarfe zum Elektromotor	- 41 -
2.3.3	FuE-Bedarfe zum Hochvoltbordnetz.....	- 42 -
2.4	Abgeleitete Qualifizierungsbedarfe	- 42 -
2.5	Verdichtung der Aussagen in Form einer SWOT-Analyse	- 44 -
3	Empfehlungen/ Anregungen für Entwicklungsprojekte	- 47 -
3.1	Überblick geeigneter infrage kommender Förderprogramme	- 47 -
3.2	Wissenschaftspartner der Region.....	- 49 -
3.3	Projektsteckbriefe.....	- 52 -
4	Anhang	- 53 -
4.1	Quellen- und Literaturverzeichnis	- 53 -

Abkürzungsverzeichnis

BEV	Battery Electric Vehicle, Batterie-Elektrofahrzeug
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BDSV	Bundesvereinigung Deutsche Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e. V. (German Steel Scrap Association)
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
bvse	Fachverband Schrott, E-Schrott und Kfz-Recycling
DERA	Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
GWh	Gigawattstunde
HEV	Hybrid Electric Vehicle, Hybrid-Elektrofahrzeug (auch: Heavy Electric Vehicle)
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen gemäß EU- Definition mit bis zu 249 Beschäftigten an der Betriebsstätte
LEV	Light Electric Vehicle
NKWS	Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie
OEM	Original Equipment Manufacturer (Erstausrüster)
PHEV	Plugin Hybrid Electric Vehicle, Plugin-Hybrid-Elektrofahrzeug
ReTraNetz	Regionales Transformationsnetzwerk Berlin-Brandenburg
SoH	State of Health
TAB	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
UAS	Unmanned Aircraft Systems

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie, die im Rahmen des Arbeitspaketes B.3 des Gesamtprojekts ReTraNetz-BB durchgeführt wurde, untersucht die Wertschöpfungspotentiale in der Kreislaufwirtschaft von Elektrofahrzeugen. Dabei liegt der Fokus auf den drei wesentlichen Komponenten: Batteriesysteme, Elektromotoren und Hochvoltbordnetzen. Ziel ist es, Geschäftsmodelle und neue Wertschöpfungsstrukturen zu identifizieren, die für die Region Berlin-Brandenburg relevant sind bzw. werden können.

Die Analyse zeigt, dass der Stand der Technik in der Verwertung der charakteristischen Komponenten stark von den Entwicklungen in den Bereichen 2nd-Life, Wiederaufbereitung und Recycling abhängt. Diese Prozesse sind besonders relevant, da die Rohstoffverfügbarkeit für Batterien und Elektromotoren weltweit limitiert ist. Die Verwertung von kritischen Rohstoffen wie Kobalt, Lithium und Nickel ist nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch im Hinblick auf die Versorgungssicherheit von zentraler Bedeutung. Die Einführung der neuen EU-Batterieverordnung im Februar 2024 legt hier strenge Recyclingquoten fest und erfordert einen Mindestanteil an recycelten Materialien in neuen Batterien. Diese Verordnung schafft einen regulatorischen Rahmen, der die Kreislaufwirtschaft in Europa maßgeblich vorantreiben soll und setzt Maßstäbe, die auch auf andere Komponenten wie Elektromotoren und Hochvoltbordnetze angewendet werden könnten.

Berlin-Brandenburg, bis vor Kurzem nicht als hervorstechender Automobilstandort bekannt, hat sich durch die Ansiedlung von Unternehmen wie Tesla sowie die wachsende Zahl von Zulieferern und Softwareentwicklern zu einem aufstrebenden Zentrum für Elektromobilität entwickelt. Die Studie identifiziert relevante Akteure in der Region Berlin und Brandenburg, die sich mit der Kreislaufwirtschaft von Elektrofahrzeugen befassen. Diese Unternehmen sind in Bereichen wie Batterierecycling und Demontageprozesse aktiv und könnten eine zentrale Rolle bei der Etablierung einer nachhaltigen Wertschöpfungskette in der Region einnehmen. Die Kooperation zwischen den Unternehmen in Berlin-Brandenburg und den angrenzenden Bundesländern wie Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen könnte die Bildung eines starken Netzwerks fördern, das die Recyclinginfrastruktur verbessert und neue Geschäftsmodelle für Aufgaben der Kreislaufwirtschaft entwickelt. Diese Zusammenarbeit könnte es der Region ermöglichen, eine führende Rolle bei der Wiederverwendung und dem Recycling von Elektrofahrzeugkomponenten zu übernehmen.

Angesichts der knappen Rohstoffe und geopolitischen Unsicherheiten ist die Fähigkeit, kritische Materialien wiederzugewinnen und zu recyceln, ein strategisches Asset.

Besonders im Bereich der 2nd-Life-Nutzung von Batterien, also der Weiterverwendung von gebrauchten Batterien in weniger anspruchsvollen Anwendungen, können neue Geschäftsfelder entstehen. Große Entsorger verfügen bereits über ausgebaute Netzwerke für die Sammellogistik, die für die Skalierung der Kreislaufwirtschaft von Elektrofahrzeugen von großem Vorteil sind. Technologische Innovationen in der Demontage- und Recyclingtechnik sind hierbei entscheidend für den Erfolg der Kreislaufwirtschaft. Die Bereitstellung effizienter Demontageprozesse für Elektromotoren und Leistungselektronik muss noch entwickelt werden, um die Wiedergewinnung von wertvollen Materialien wie Kupfer und seltenen Erden sicherzustellen.

Darüber hinaus erfordert der Wandel zu einer kreislauffähigen Elektromobilität eine umfassende Anpassung der Qualifizierungsstrategien. Besonders in den Bereichen Automatisierungstechnik, Prozessleittechnik und Digitalisierung besteht ein starker Bedarf sowohl an Facharbeitern als auch an Ingenieuren. Neue Ausbildungsinhalte müssen geschaffen und bestehende Programme an die Anforderungen der Kreislaufwirtschaft angepasst werden. Gleichzeitig müssen Unternehmen die Weiterbildung bestehender Mitarbeiter unterstützen, um den Übergang in eine nachhaltige Produktions- und Recyclingwirtschaft zu bewältigen.

Berlin, den 23.Oktober 2024

Auftrag und Vorgehen

Was machen wir und warum?

Die vorliegende Studie zu neuen Wertschöpfungspotentialen in der Kreislaufwirtschaft von Komponenten in Elektrofahrzeugen fasst im Rahmen des Arbeitspaketes B.3 im Gesamtprojekt ReTraNetz-BB die *Entwicklung und Förderung neuer Geschäftsmodelle mit dem Fokus der Kreislaufwirtschaft* zusammen. Der Auftrag lautet dabei:

- Erfassung des aktuellen Stands der Technik und der Wirtschaftlichkeit bei der Verwertung von elektrischen Komponenten in E-Fahrzeugen hinsichtlich der drei spezifischen Hauptkomponenten: Batteriesystem, Elektromotor und Hochvoltbordnetz
- Darstellung von Potentialen für künftige Geschäftsmodelle in der Region Berlin-Brandenburg

Im Rahmen der vorausgegangenen „Studie für das Transformationsnetzwerk Automobil- und Zuliefererindustrie sowie Mobilitätsdienstleistungen in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg“ sind Erhebungen und Analysen bei den in der Region ansässigen Unternehmen zu möglichen Unterstützungsangeboten und -formaten durchgeführt worden.

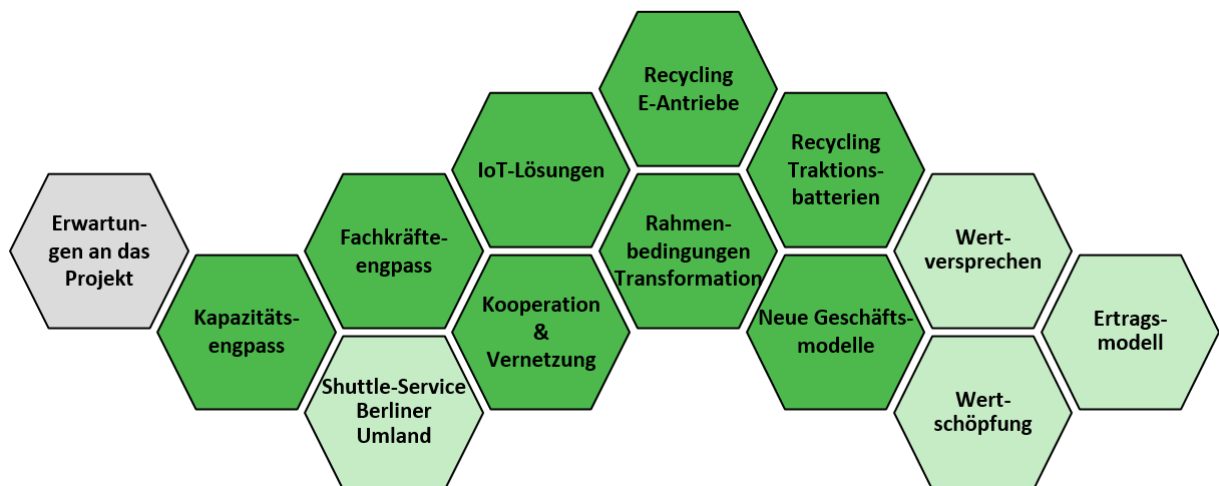


Abbildung 1: Situations- und Bedarfsanalyse - Kategorien

Das hiesige Ökosystem umfasst mindestens 215 Unternehmen mit Bezug zur Aufgabenstellung. Aus diesem wurden zwischen November 2022 und März 2023 rund 30 Betriebe ausgewählt und aktuelle Bedarfe zur Bewältigung der Transformation in Tiefengesprächen erfasst. Diese wurden zu rund zehn Themenschwerpunkten aus über 80 Aussagenbausteinen aggregiert und daraus Ansätze für Handlungsempfehlungen abgeleitet. Aus den Ansätzen 5. „Grüne Prozesskette“ E-Antriebe und 6. Recycling von Traktionsbatterien

ist als Aufgabenstellung die **Betrachtung von Wertschöpfungspotentialen durch neue Prozessschritte im Rahmen der Kreislaufwirtschaft von Komponenten in Elektro-Fahrzeugen** nach eingehender Betrachtung im Kreis der Konsortialpartner von ReTraNetz-BB abgeleitet worden.

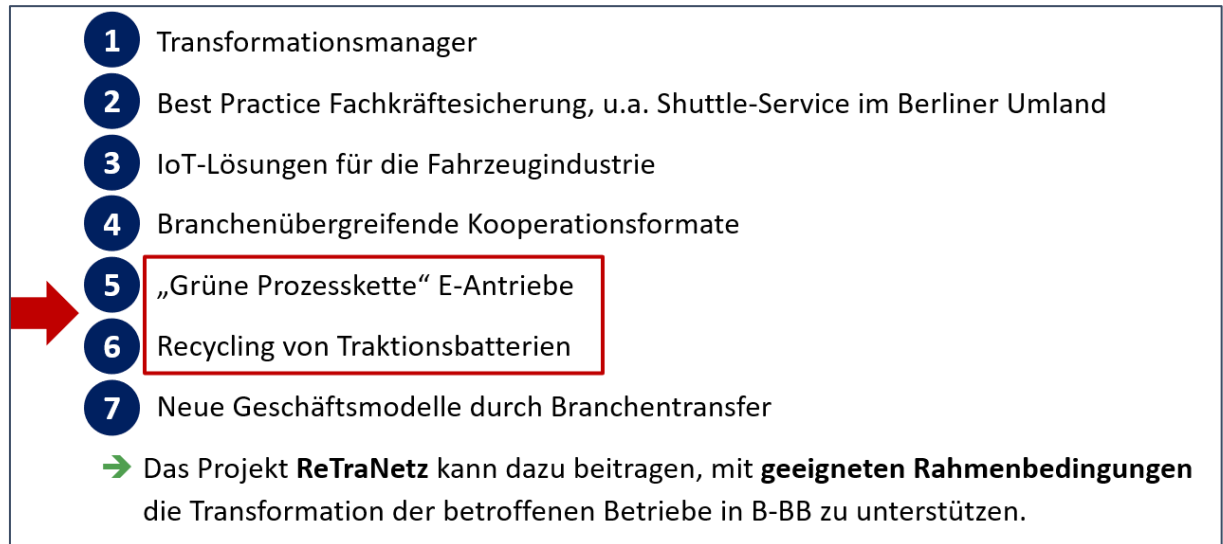


Abbildung 2: Ableitung des Untersuchungsgegenstands: „Kreislaufwirtschaft von Komponenten in E-Fahrzeugen“ aus dem sieben Handlungsfeldern der Status-Quo-Analyse

Ziel ist die Erarbeitung einer Vorstellung über mögliche Wertschöpfungsstrukturen der Kreislaufwirtschaft in den drei Untersuchungsfeldern bzw. Hauptkomponenten von Elektrofahrzeugen (1.) Batteriesystem (B), (2.) Elektromotor (M) und (3.) Hochvoltbordnetz (HV) unter Einbeziehung der Nachnutzungsphasen: Second Life, Wiederaufbereitung, Recycling sowie einhergehender Transport- und Logistikprozesse.

Die technischen Handlungsräume B, M und HV sind gewissermaßen künftige Handlungsräume für Entscheider auf unternehmerischer und ggf. auch politischer Ebene. Die Ergebnisse dieser als Projektstudie angelegten Betrachtung können auch künftigen Strategien zur Wirtschafts-, Industrie- und Gewerbeförderung dienlich sein.

Das Transformationsnetzwerk Automobil- und Zuliefererindustrie sowie Mobilitätsdienstleistungen in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg (ReTraNetz-BB) ist eines von deutschlandweit 27 Projekten bzw. Transformationsnetzwerken, die über das Förderprogramm Transformationsstrategien für Regionen der Fahrzeug- und Zulieferindustrie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert werden. Die Transformationsnetzwerke sind Teil des Zukunftsfonds Autoindustrie, den die Bundesregierung ab 2021 für die Herausforderungen des Strukturwandels in der Automobilindustrie bereitstellt. Der Zukunftsfonds Automobilindustrie soll die mittel- bis

langfristigen Herausforderungen der Fahrzeugindustrie bei ihrer Transformation hin zu nachhaltiger und digitaler Mobilität adressieren.

Das Projektkonsortium von ReTraNetz-BB umfasst den Bildungsträger **bbw Akademie für betriebliche Weiterbildung** in Abstimmung mit dem Verband der Metall- und Elektroindustrie in Berlin-Brandenburg VME e.V., das **bfw Berufsfortbildungswerk** im Zusammenwirken mit der IG Metall sowie die wissenschaftlichen Einrichtungen des **Fraunhofer Instituts für Produktionsanlagen IPK** und die **Technische Universität Berlin mit dem Fachbereich Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik iwf**. Koordiniert und geleitet wird ReTraNetz BB durch die **Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie** GmbH. Projektträger für das BMWK ist die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.

Hintergrund für dieses Netzwerk ist, dass durch den Übergang von der Verbrenner- zum Batterieantrieb in Deutschland hunderttausende Industrie- und Ingenieursarbeitsplätze ersetzt werden müssen. Die Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg steht dabei vor besonderen Herausforderungen hinsichtlich ihrer ökonomischen, ökologischen und technologischen Zukunftsfähigkeit.

Die vorliegende Studie betrachtet die Wertschöpfungspotentiale der Kreislaufwirtschaft der drei charakteristischen Systemkomponenten des Elektrofahrzeugs:

- [B] **Batteriesystem:** Zellmodule, Kühlsystem, BMS
- [M] **Elektromotor:** Läufer/Stator, Steuerung, Sensorintegration
- [HV] **Leistungselektronik,** inkl. Verkabelung, „**Hochvoltbordnetz**“

Die Reparatur, die Wieder- und Weiternutzung sowie das Recycling kann in Zukunft ein **strategisch besonders wichtiger regionaler Wettbewerbs- und Standortvorteil werden**, da die Rohstoffvorkommen nur auf wenige Versorgerländer verteilt und Lieferungen aufgrund internationaler Handelsbeschränkungen durch politische Spannungen limitiert sind.

Die übergeordnete **ReTraNetz-BB Transformationsstrategie**¹ bildet den konzeptionellen Rahmen für die Kreislaufwirtschaft.[7] Sie fokussiert auf die Umstellung von einer klassischen Fahrzeugproduktion hin zu einer Mobilitätswirtschaft, die in der Hauptstadtregion um die ansässigen Mobilitätsanbieter ergänzt werden. Dabei beeinflussen die Mobilitäts-

¹ Vorstellung der Transformationsstrategie von Oliver Danninger, accilium auf der Veranstaltung „Auf dem Weg zum Fahrzeugland 2.0“ am 31.1.2024, file:///C:/Users/Angela%20Blume/Downloads/2024-01_ReTra-Netz-BB_Transformationsstrategie_final.pdf

und Energietransformation die traditionelle Wertschöpfungskette grundlegend. Die wichtigsten Elemente dieser Strategie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. **Transformation zum Mobilitätsanbieter:** Der Fokus verschiebt sich von der reinen Produktion von Fahrzeugen hin zu umfassenden Mobilitätsdienstleistungen. Dies umfasst nicht nur die Bereitstellung von Elektrofahrzeugen, sondern auch Mobilitätslösungen, die durch Sharing-Modelle und andere innovative Ansätze ergänzt werden.
2. **Veränderung der Wertschöpfungskette:** Die klassische Fahrzeugherstellung wird durch die Integration von Elektromobilität und geteilten Mobilitätsmodellen (Sharing Economy) erweitert. Zudem steigt die Bedeutung von Software in der Automobilindustrie, wobei Software zunehmend eine gleichwertige Rolle wie Hardware spielt. Fahrzeuge werden nicht mehr nur als physische Produkte betrachtet, sondern zunehmend als Softwareplattformen, die kontinuierlich aktualisiert und verbessert werden.
3. **Regionale Chancenfelder:** Die Transformation bietet besonders in fünf strategischen Bereichen Potentiale für regionale Zulieferer. Diese Chancenfelder sind:
 - Softwarebasierte Geschäftsmodelle: Digitale Dienstleistungen und Mobilitätsplattformen gewinnen an Bedeutung.
 - Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen: Technologien für autonomes Fahren und vernetzte Fahrzeuge werden vorangetrieben.
 - Diversifizierung von Fahrzeugarten: Die Anforderungen an unterschiedliche Kunden und Märkte erfordern eine größere Vielfalt an Fahrzeugtypen, von Kleinstfahrzeugen bis hin zu speziellen Nutzfahrzeugen.
 - Elektrifizierung der Mobilität: Elektrische Antriebe und Ladeinfrastrukturen bilden die Grundlage der zukünftigen Mobilität.
 - Kreislaufwirtschaftliches Wertschöpfungssystem: Nachhaltige Geschäftsmodelle, die auf Recycling und Wiederverwendung setzen, werden an Bedeutung gewinnen.

Um letzteren Punkt dreht es sich in der vorliegenden Untersuchung.

1 Wertschöpfungspotentiale in der Kreislaufwirtschaft der Elektromobilität

In diesem Kapitel:

- *Welche Wertschöpfungspotentiale bietet das Recycling der für die Elektromobilität charakteristischen Komponentengruppen Batteriesystem, Leistungselektronik, Elektromotor?*
- *Welche Trends lassen sich aus den aktuellen Ansiedlungs- und Investitionsgeschehen im Branchenumfeld Recycling bzw. Elektromobilität erkennen?*
- *Welche aktuellen gesetzlichen Vorgaben bestehen hinsichtlich der Materialrückgewinnung aus Batterien?*
- *Welchen Stellenwert hat der Wertschöpfungsbereich Recycling/ Kreislaufwirtschaft wirtschafts- und industriepolitisch im Untersuchungsraum?*
- *Welche Unternehmen und Institutionen sind im Untersuchungsraum aktiv?*
- *Welche ausgewählte Best Practice Beispiele sollte man näher betrachten?*

1.1 Charakteristische Systemkomponenten

In der nachfolgenden Grafik sind die drei charakteristischen Systemkomponenten eines Elektrofahrzeugs hervorgehoben und in den Unterkapiteln kurz beschrieben.

1.1.1 Batteriesystem

Akkus oder auch umgangssprachlich Batterien versorgen in Elektro- und Hybrid-Fahrzeugen (BEV und HEV) die Fahrmotoren mit elektrischer Energie. Der Elektromotor wandelt diese elektrische Energie in Bewegungsenergie um.² Zum Einsatz kommen derzeit fast ausschließlich Lithium-Ionen-Akkus. Das **Batteriepäck** besteht aus mehreren **Batteriemodulen** sowie weiteren elektrischen, mechanischen und thermischen Komponenten. Diese werden je nach geforderten Leistungsdaten unterschiedlich verschaltet und dimensioniert.³

² <https://www.mein-autolexikon.de>

³ Heimes et al., 2023.

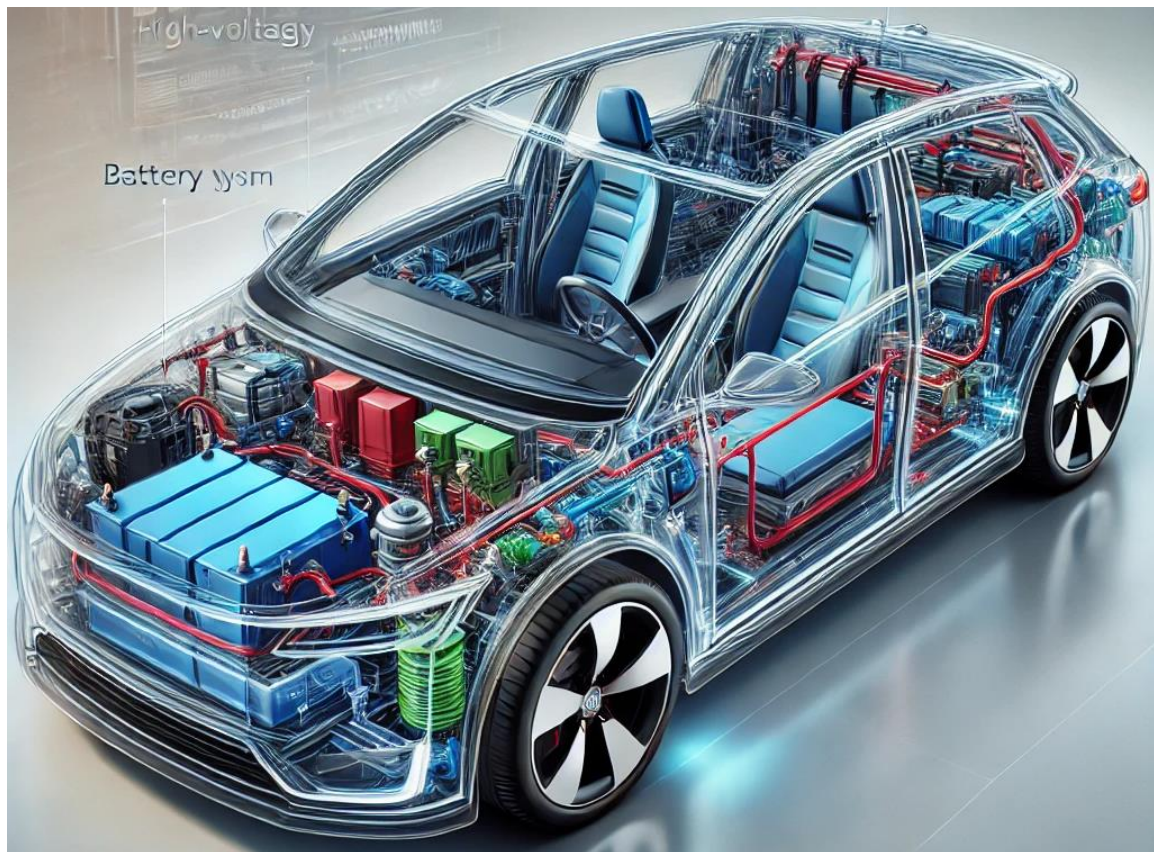


Abbildung 3: Elektrofahrzeug - farblich hervorgehoben Elektromotor inkl. Steuerung (grün), Batteriesystem (blau), Hochvoltbordnetz (rot), erzeugt mit DALL-E, OpenAI

Das Batteriemodul besteht wiederum aus **Batteriezellen**, die seriell oder parallel verschaltet werden können. Es herrschen derzeit drei unterschiedliche Zellformate vor: zylindrische, prismatische und Pouch-Zellen. Der allgemeine Aufbau der Batteriezelle ist über die verschiedenen Zelltypen hinweg identisch. Die Batteriezelle besteht allgemein aus Anoden und Kathoden mitsamt den elektrochemisch aktiven Oberflächen sowie dem Separator, der die Elektroden voneinander trennt. Dazwischen befindet sich der ionenleitfähige Elektrolyt.⁴

Die werthaltigste Komponente eines BEV ist das Batteriepack mit bis zu 50 % der Gesamtkosten des Fahrzeugs.⁵ Dabei entfällt der Hauptanteil der Gesamtkosten für eine Lithium-Ionen-Batterie auf das Material. Von den Materialkosten entfallen 44 % auf das

⁴ Heimes et al., 2023.

⁵ Heimes et al., 2021 (Metastudie aus Kampker et al., 2019, Komponentenherstellung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle; Friedrich et al., 2019, Recovery of Valuable Metals from E-Waste and Batteries by Smart Process Design; Kwade/ Haselrieder/ Leithoff, 2018, Current status and challenges for automotive battery production technologies).

Kathodenmaterial. Somit stellt die Kathode eine Schlüsselkomponente für den Wertschöpfungsschritt des Recyclings dar.

1.1.2 Elektromotor

Ein Elektroantrieb in Fahrzeugen basiert auf **Elektromotoren**, die elektrische in mechanische Energie umwandeln und direkt die Antriebsachsen bewegen. Das Drehmoment entsteht durch die Anziehungskraft zwischen Magnetfeldern des Stators und Rotors. Dabei steht der „Stator“/„Ständer“ räumlich fest und der „Rotor“ oder „Läufer“ ist drehbar gelagert. Elektromotoren bieten einen breiten Drehzahl- und Drehmomentbereich, weshalb oft auf Schaltgetriebe verzichtet werden kann. Mit einem hohen Wirkungsgrad von etwa 80-95 % sind sie weitaus effizienter als Verbrennungsmotoren. Weitere Vorteile sind ihr sofortiges maximales Drehmoment, leiser Betrieb, kompakte Bauweise, geringes Gewicht, geringer Wartungsaufwand und die Möglichkeit zur Energierückgewinnung beim Bremsen.⁶

1.1.3 Hochvoltbordnetz

Mit dem **Hochvoltbordnetz** ist die Leistungselektronik einschließlich der Leistungsverkabellung gemeint. Auch Elektrofahrzeuge verfügen über ein Niederspannungsbordnetz, dem bislang üblichen 12 Volt-Bordnetz, das die bisher üblichen Verbraucher, wie Scheinwerfer und Signalleuchten versorgt, sowie die Unterhaltungselektronik und die elektrischen Aggregate für Klima und Lüftung etc. Die Leistungselektronik in Elektro- und Hybridfahrzeugen umfasst einen Inverter und einen Spannungswandler. Der Inverter steuert den Elektromotor, wandelt die Batteriespannung in die erforderliche Wechselspannung um und kann das Niederspannungs-Netz aus dem Hochvolt-Netz speisen. Zudem spielt die Leistungselektronik eine zentrale Rolle bei der Rekuperation, indem sie den vom Motor erzeugten Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt und die Batterie auflädt. Sie ermöglicht auch das Rückwärtsfahren durch Umkehr der Polung. Für einen hohen Wirkungsgrad müssen die Komponenten in einem optimalen Temperaturbereich gehalten werden, was ein effizientes Thermo-Management erfordert.⁷

1.2 Das Markt- und Branchenumfeld der Elektromobilität

Absatz- und Marktlage von Elektrofahrzeugen BEV: Die zeitweilige Euphorie der Käufer scheint verblasst. Die Nachfrage nach E-Fahrzeugen ist aktuell rückläufig beziehungsweise abwartend. So wurden im Juni 2024 in Deutschland mit 43.500 Fahrzeugen mit

⁶ <https://www.mein-autolexikon.de>

⁷ <https://www.mein-autolexikon.de>

Batteriebetrieb 18 Prozent weniger neuzugelassen als im Vorjahreszeitraum. Im ersten Halbjahr 2024 waren es insgesamt minus 16 Prozent. Tesla hat seit dem Jahresbeginn 2024 in Deutschland rund 42 Prozent weniger Neuwagen verkauft als im Vorjahreszeitraum.⁸

Die Gründe sind vielschichtig, sie liegen unter anderem in der allgemeinen Konsumzurückhaltung angesichts multipler Krisen, im technologiespezifisch noch vergleichsweise hohen Anschaffungspreis, der noch eingeschränkten Usability im Alltag (Ladeinfrastrukturnetz weiter im Aufbau), im derzeit noch ungewissen Restwert des Fahrzeugs und vor allem in der bislang unbekanntenen Lebensdauer der Traktionsbatterie. Das sind die wesentlichen Gründe, warum Autokäufer in Deutschland sich noch überwiegend gegen ein Elektrofahrzeug entscheiden.

Tabelle 1: E-Fahrzeug-Absatz nach Hersteller jeweils Januar bis Juni 2024 vs. 2023⁹

E-Fahrzeug-Absatz nach Hersteller jeweils Januar bis Juni 2024 vs. 2023

Hersteller	2024	2023	Entwicklung [%]
VW	29.213	34.414	-15
Tesla	21.249	36.384	-42
BMW	18.312	12.845	+43
Mercedes-Benz	15.494	16.913	-8
Audi	11.570	14.415	-20
MG Roewe	11.023	7.705	+43
Skoda	9.629	7.769	+24
Smart	8.549	8.268	+3
Hyundai	8.371	12.097	-31
Volvo	7.909	4.095	+93

Andere wichtige europäischen Fahrzeugmärkte – Frankreich, Belgien, Niederlande, Skandinavien – verzeichnen indes steigende Absatzzahlen, nicht zuletzt aufgrund massiver staatlicher Förderung, von der überwiegend inländische Hersteller profitieren (Stellantis, PSA), die im unteren bis mittleren Preissegment verkaufen.

Hinsichtlich der Investitionen stehen in Deutschland die Zeichen aktuell eher auf Zurückhaltung. Sowohl überregional als auch regional mehren sich seit ungefähr Mitte 2023 Meldungen über gestoppte oder reduzierte Investitionen gegenüber den

⁸ Vgl. KBA, 2024.

⁹ Quelle: KBA, 2024

„Erfolgsmeldungen“ der Jahre zuvor. Die neuerlich festzustellende Zurückhaltung der Industrie beim Aufbau von Batteriezellwerken lässt sich an einigen Beispielen festmachen: Automotive Cells Company (acc), das Joint Venture aus Stellantis¹⁰ (Peugeot, Fiat, Opel), Mercedes Benz und Saft lässt aktuell zwei von drei geplanten Bauprojekten ruhen (Kaiserlautern, Rheinland-Pfalz). SVOLT Energy Technology Co., Ltd. hat seine Pläne zum Bau einer Batteriezellenwerks im südbrandenburgischen Lauchhammer (OSL) und im saarländischen Saarlouis zurückgezogen. Per Mitteilung begründet das chinesische Unternehmen den Rückzug mit Marktunsicherheiten, Strategieanpassungen bei den Fahrzeugherstellern und dem Wegfall eines Großauftrags. Im Dezember 2023 kündigte der Triebwerkshersteller Rolls-Royce (Ludwigsfelde) an sich vom Geschäft mit elektrischen Antrieben für Flugzeuge zu trennen und sich stattdessen auf synthetische Kraftstoffe zu fokussieren. Volkswagen Sachsen kündigte im Sommer 2024 die Nichtübernahmen von 1.000 befristeten Beschäftigten in seinem Zwickauer E-Fahrzeug-Leitwerk an. Um die schwache Nachfrage nach inländischen E-Fahrzeugen entgegenzuwirken, erließ die EU-Kommission im Juni 2024 Einfuhrzölle auf chinesische E-Fahrzeuge in Höhe von ca. 37 Prozent. Betroffen sind jedoch vor allem Importfahrzeuge europäischer Hersteller, die in China fertigen.

Noch vor einem Jahr überwogen im Wertschöpfungsbereich des Batterie-Recyclings die Erfolgsmeldungen: Im Sommer 2023 nahm BASF in Schwarzheide eine Produktionsanlage für Kathodenmaterialien in Betrieb, ebenso eine Batterierecycling-Anlage zur Herstellung von Schwarzer Masse – im Beisein von hochrangigen EU-, Bundes- und Landespolitikern.

1.3 Regulativer Rahmen der Europäischen Union und der Bundesregierung

Im August 2023 ist die **neue EU-Batterieverordnung** vom Europäischen Parlament verabschiedet worden und in Deutschland im Februar 2024 in Kraft getreten. Das politische Ziel ist es, einen Wirtschaftskreislauf zur Rücknahme von Batterien, des Recyclings von Batterierohstoffen und deren Wiederverwertung zu fördern. Die wichtigsten Punkte der Verordnung sind höhere Wiederverwertungsquoten (bei Batterien nun 90 % statt 50 %) und höhere Mindestanteile von recyceltem Material (Kobalt, Lithium, Nickel) in neuen Batterien. Im Überblick:

- Rohstoffgewinnung: Strengere Sorgfaltspflichtvorschriften für Marktteilnehmer, Herkunftsnachweis der verwendeten Rohstoffe.

¹⁰ Stellantis ist ein Fahrzeughersteller und Mobilitätsanbieter und entwickelt Produkte und Dienstleistungen für 14 Marken (u.a. Alpha Romeo, Chrysler, Citroën, Fiat, Maserati, Opel, Peugeot...).

- **Materialaufbereitung:** Neu produzierte Batterien müssen einen deutlich höheren Mindestanteil von recyceltem Material enthalten.
- **Kennzeichnungs- und Informationspflichten:** ab 2025 ist der CO₂-Fußabdruck von Batterien anzugeben; ab 2026 Bestandteile der Batterie, Recycling-Anteil; ab 2027 elektronischer „Batteriepass“ mit QR-Code. Dieser muss dann auch Informationen zur Zusammensetzung und zur Demontage der Batterie enthalten.
- **Höhere Sammelziele für Batteriehersteller:** Mindestwerte für Recyclinganteile, z.B. für Kobalt 16 %/ 26 % (ab 2031/ ab 2036), Lithium 6 %/ 12 %; Nickel 6%/ 15%
- Hersteller müssen Haltbarkeit und Lebensdauer ihrer Produkte genau berechnen und ausweisen.
- Für die Einhaltung dieser Pflichten (Rezyklatanteil, Batterie-Pass, Sammlung von Altbatterien) ist der Erzeuger der jeweiligen Batterie verantwortlich.

Ausblick: Es ist zu erwarten, dass bei erfolgreicher Umsetzung der Batterieverordnung auf Ebene der Europäischen Union ähnliche Regelungen für weitere Systeme der Elektromobilität erlassen werden, so beispielsweise auch für die Hochvoltverkabelung und den Elektromotor. Beide Systeme enthalten werthaltige und rare Stoffe, die aus Gründen des Umweltschutzes und der Versorgungssicherheit hinsichtlich wichtiger Rohstoffe für die Energie- und Mobilitätswende in Europa zu sichern sind.

Auf nationaler Ebene plant die Bundesregierung mit der **Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS)** gesetzliche Anforderungen zur Verbesserung der Reparaturfähigkeit von Elektro- und Elektronikgeräten. Die NKWS zielt darauf ab, nicht nur auf Recycling zu setzen, sondern auch insgesamt die Produktlebenszyklen zu verlängern, durch eine effizientere Nutzung von Materialien und eine stärkere Fokussierung auf Reparierbarkeit und Wiederverwendung. Ein zentrales Anliegen ist es, **Deutschland als Technologieführer im Bereich Kreislaufwirtschaft** zu etablieren, was gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit und die Resilienz gegenüber Rohstoffknappheiten stärken soll.

Die folgenden Einzelheiten verdeutlichen den Umfang der Intention.

- **Verpflichtende Bereitstellung von Ersatzteilen:** Hersteller sollen gesetzlich verpflichtet werden, über einen festgelegten Zeitraum Ersatzteile für ihre Produkte bereitzustellen. Dies stellt sicher, dass Geräte über einen längeren Zeitraum

repariert werden können und nicht aus Mangel an Ersatzteilen entsorgt werden müssen.

- Zugang zu Reparaturanleitungen: Die Bereitstellung von leicht zugänglichen und verständlichen Reparaturanleitungen für Verbraucher und unabhängige Werkstätten wird gefordert. Dies fördert die Selbstreparatur und unterstützt kleinere Reparaturdienstleister.
- Standardisierte und modulare Produktdesigns: Die Gestaltung von Elektro- und Elektronikgeräten soll so erfolgen, dass sie leicht zu demontieren und reparieren sind. Das bedeutet, dass Produkte modular aufgebaut werden sollen, sodass einzelne Komponenten problemlos ersetzt werden können.
- Software-Updates und Kompatibilität: Die Gesetzgebung könnte vorschreiben, dass Software-Updates über einen bestimmten Zeitraum bereitgestellt werden, ohne die Leistung älterer Geräte negativ zu beeinflussen. Außerdem sollen Updates nicht dazu führen, dass Geräte schneller unbrauchbar werden.
- Kennzeichnung der Reparierbarkeit: Einführung einer verpflichtenden Kennzeichnung, die den „Reparierbarkeitsindex“ eines Geräts angibt. Verbraucher sollen so bereits beim Kauf erkennen können, wie leicht oder schwer ein Gerät reparierbar ist.
- Verlängerte Garantiezeiten und Reparaturpflichten: Verlängerung der gesetzlichen Garantiezeiten und Verpflichtungen der Hersteller, Reparaturen innerhalb der Garantiezeiten ohne zusätzliche Kosten anzubieten. Dies soll einen Anreiz schaffen, langlebigere Produkte zu entwickeln.
- Förderung von Reparaturdienstleistungen: Unterstützung von Reparaturdiensten durch Förderungen oder steuerliche Anreize, um Reparaturkosten zu senken und Reparaturen für Verbraucher attraktiver zu machen.
- Wiederverwendung von Bauteilen: Die Gesetzgebung könnte festlegen, dass bestimmte Bauteile nach dem Ende der Lebensdauer eines Geräts wiederverwendet oder recycelt werden müssen, um die Kreislaufwirtschaft zu fördern.

Der aktuelle Stand der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) der Bundesregierung befindet sich in einer finalen Abstimmungsphase. Nachdem im Juni 2024 ein umfassender Entwurf veröffentlicht wurde¹¹, läuft derzeit der Dialogprozess mit Stakeholdern aus Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Wissenschaft.

¹¹ Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie, Entwurfsstand, 17.06.2024, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/nkws_entwurf_bf.pdf, abgerufen am 21.10.2024

Für die Elektromobilität – und speziell für Traktionsbatterien, Elektromotoren und das Hochvoltbordnetze (einschließlich der Leistungselektronik-Bauteile) – bedeutet die NKWS folgendes:

In Bezug auf **Traktionsbatterien** sieht die Strategie vor, dass die **Rückgewinnung von kritischen Rohstoffen** wie Lithium, Kobalt, Nickel und anderen Metallen aus gebrauchten Batterien verbessert wird. Das Ziel ist, den Bedarf an Primärrohstoffen zu reduzieren und Abfälle zu minimieren. Es sollen hohe Standards für das **Recycling** von Traktionsbatterien etabliert werden, um die Effizienz der Materialrückgewinnung zu maximieren. Ebenso soll die **Wiederverwendung** von Batterien, etwa in stationären Speichern als 2nd-Life-Anwendungen, gefördert werden, um die Lebensdauer von Traktionsbatterien zu verlängern, bevor sie recycelt werden.

Elektromotoren enthalten wertvolle Materialien wie Kupfer, Weicheisen und seltene Erden, die im Rahmen der Kreislaufwirtschaft vermehrt recycelt und wiederverwendet werden sollen. Eine effiziente **Demontage und Rückgewinnung** dieser Materialien stehen im Fokus. Hersteller sollen dazu angehalten werden, Elektromotoren so zu gestalten, dass sie einfacher demontiert und recycelt werden können („Design for Recycling“).

Leistungselektronik und Komponenten im **Hochvoltbordnetze** bestehen aus einer Vielzahl an Rohstoffen, darunter seltene Erden und Edelmetalle. Die NKWS beinhaltet, dass diese **Materialien** vermehrt **rückgewonnen** und wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden. Durch **technologische Innovationen** sollen neue, ressourceneffizientere Materialien und Techniken für die Leistungselektronik und das Hochvoltbordnetze entwickelt werden, die langlebiger und besser recyclebar sind.

Generell fordert die NKWS, dass Produkte bereits in der Designphase so entwickelt werden, dass sie am Ende ihres Lebenszyklus leicht wiederverwertbar sind („**Design for Circularity**“).

Der regulatorische Rahmen wird unter der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie in Kongruenz mit Batteriegesetz (BattG)¹² und der Europäischen Kreislaufwirtschaftsstrategie (Circular Economy Action Plan)¹³ sowie dem „Nationalen Entwicklungsplan

¹² <https://www.batteriegesetz.de>, abgerufen am 21.10.2024

¹³ MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa, 11.3.2020, https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en, abgerufen am 21.10.2024

Elektromobilität“¹⁴ und Berichten des Umweltbundesamtes (UBA) und des Bundesinstituts für Materialforschung und -prüfung (BAM) aufgespannt, die sich mit der Ressourcenschonung und den Recyclingmöglichkeiten in der Elektromobilität auseinandersetzen.

1.4 Stellenwert der Kreislaufwirtschaft in industriepolitischen Strategie- und Planungsdokumenten der Länder

In Ergänzung zum regulatorischen Rahmen der EU und der Bundesregierung wird untersucht, welchen Stellenwert der Wertschöpfungsbereich der Kreislaufwirtschaft wirtschafts-, industrie- und umweltpolitisch auf Länderebene besitzt. Dazu wurden 13 wirtschaftspolitische Strategien, Dokumente und Pläne dahingehend untersucht, ob und wie, in welchem Detaillierungsgrad, die hier untersuchten Handlungsfelder Batterie [B], Hochvoltbordnetz [HV], Elektromotor [M] darin aufgeführt werden.

Diese Dokumente wurden hinsichtlich des „Detaillierungsgrads der Zielformulierung“ anhand der vier folgend erläuterten möglichen Bewertungsstufen klassifiziert.

- Sachverhalt nicht enthalten: keine Erwähnung
- * abstrakte Erwähnung: Es werden nur allgemeine Nachhaltigkeitsziele genannt.
- ** benannt: Es werden Teilgebiete der Kreislaufwirtschaft und des Recyclings allgemein beschrieben.
- *** spezifisch beschrieben: Es werden konkrete Teilgebiete der Kreislaufwirtschaft und des Recyclings detailliert beschrieben.

¹⁴ Regierungsprogramm Elektromobilität der Bundesregierung, Mai 2011, https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/regierungsprogramm-elektromobilitaet-mai-2011.pdf?__blob=publication-File&v=6, angerufen am 21.10.2024

Tabelle 2: Bewertung industriepolitischer Strategie- und Planungsdokumente

Dokument	Detaillierungsgrad Zielformulierung	Bezug [B, HV, M]
Nationale Industriestrategie	**	B, HV, M
Koalitionsvertrag Bundesregierung 2021-2025	**	B
Koalitionsvertrag Berlin 2021-2026	**	B
Koalitionsvertrag Brandenburg 2019-2024	*	B
Masterplan Industriestadt Berlin 2022-2026	*	-
Standortentwicklungsplan Wirtschaft 2030 (2019)	**	-
Industriestrategie Brandenburg (2023)	*	-
Energiestrategie 2040 (2022)	*	-
innoBB 2025 (2019)	***	B, HV, M
Masterplan Energietechnik (2017)	***	B, HV, M
Masterplan Kunststoffe und Chemie (2020)	***	B, M
Masterplan Verkehr, Mobilität, Logistik (2020)	**	B
Masterplan Metall (2020)	**	B

Diese Auswertung ergibt folgende Zwischenergebnisse:

1. Auf Bundesebene adressiert und fokussiert die **Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS)** umfassend die Aktivitäten zur Kreislaufwirtschaft (vgl. Kapitel 1.3) Höhere, strengere und verbindlichere Recyclingquoten von einzelnen Materialien sind für Batteriesysteme mit der EU-Batterie-Verordnung (2024) in Kraft. In Deutschland wird diese über das **Batteriegesez (BattG)** wirksam. Es wird erwartet, dass – analog der EU-Batterieverordnung – ähnliche Regelungen für weitere Systeme der Elektromobilität erlassen werden, etwa für Leistungselektronik und Elektromotoren.
2. Der Stellenwert des Industriesektoren-übergreifenden Querschnittsthemas Kreislaufwirtschaft in wirtschaftspolitischen Strategien und Plänen ist auch auf **Länderebene** ein erkennbar wichtiges Thema.
3. Auch in den Masterplänen der länderverbindenden **Cluster** Energietechnik und VML sowie den Brandenburger Clustern *Kunststoffe und Chemie* sowie *Metall* werden Kreislaufwirtschaft und Recycling als Zielstellung betont.

4. Insgesamt weisen die meisten der untersuchten wirtschaftspolitischen Papiere der Kreislaufwirtschaft und dem Recycling von Rohstoffen noch keine konkrete ausdifferenzierte Bedeutung zu. Einer ersten Analyse nach ist festzustellen, dass die wachsende Bedeutung des Wertschöpfungsbereichs Recycling / Kreislaufwirtschaft in seiner gegenwärtigen Bedeutung zum Zeitpunkt der Erstellung (teilweise älter als 10 Jahre) noch nicht abzusehen war. Ableiten lässt sich im Umkehrschluss: **Je aktueller das Dokument, desto klarer wird darin die klima- und zunehmend sicherheitspolitische Bedeutung der Kreislaufwirtschaft benannt** (vgl. die entstehende NKWS).

1.5 Akteure im Untersuchungsraum

Geografisch umfasst der Untersuchungsraum die Bundesländer Berlin und Brandenburg. Aufgrund enger räumlicher Verflechtungen werden bedarfsweise auch ausgewählte Unternehmen und Institutionen aus angrenzenden Gebietskörperschaften (Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Mecklenburg-Vorpommern) bzw. Wirtschaftsräumen (Westpolen) mitbetrachtet. Berlin und Brandenburg ist eine Region, in denen der Automotive-Sektor im Vergleich mit den klassischen „automobilen Bundesländern“ wie Baden-Württemberg, Bayern und Niedersachsen eine bislang nachgeordnete Rolle spielte, nun aber durch die Ansiedlung von Tesla und Ansiedlungen bzw. Erweiterungen von Zulieferern und Softwarehäusern in das Blickfeld gerückt ist.

Technisch-sektoral bzw. auf der **Akteursebene** umfasst der Untersuchungsraum Unternehmen und Institutionen, die in der Kreislaufwirtschaft von Elektromotoren [M], Leistungselektronik [HV] und Batterien [B] aktiv sind. Im Untersuchungsraum wurden – aufgrund der eigenen Projektarbeit, durch Recherche und durch Hinweise der ReTraNetz-Partner – **365 Akteure** (Unternehmen, Institutionen und Multiplikatoren) insgesamt als relevant identifiziert, davon **152 Unternehmen** mit direktem Bezug zur Untersuchungsfrage klassifiziert.

1.5.1 Verteilung geographisch

Von den betrachteten 152 Unternehmen sind **124 im Untersuchungsraum Berlin-Brandenburg** ansässig¹⁵, davon 71 in Berlin und 53 in Brandenburg. Weitere 28 betrachtete Unternehmen sind in den angrenzenden Wirtschaftsräumen in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Mecklenburg-Vorpommern und Westpolen angesiedelt. Darin verfügt Sachsen mindestens über 19 relevante Unternehmen des Batterieökosystems mit Relevanz

¹⁵ weitere 28 betrachtete Unternehmen sind in den angrenzenden Wirtschaftsräumen in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Mecklenburg-Vorpommern und Westpolen ansässig.

für das Batterierecycling, Sachsen-Anhalt sechs und Thüringen fünf (und zudem mit Sun-eel HiTech und Fortum zwei große Player in der Ansiedlungsphase). Die grenznahen Regionen Westpolens weisen drei und Mecklenburg-Vorpommern mit Webasto Thermo (Neubrandenburg) mindestens ein Unternehmen auf, für welches das Recycling von Teilen einer der in dieser Studie betrachteten Systemkomponenten, nämlich Leistungselektronik [HV], relevant sein kann. Angesichts der Dynamik des gesamten Energiesektors und der ihm nachgeordneten Technologiefelder ist von einer Vielzahl weiterer Unternehmen auszugehen, die sich aktuell oder in Zukunft mit entsprechenden Anwendungen im Kontext Elektromobilität beschäftigen werden.

1.5.2 Verteilung technisch-sektoral

Die 124 Unternehmen im Untersuchungsraum Berlin-Brandenburg verteilen sich wie folgt **technisch-sektoral** (mit Mehrfachzuweisung):



Abbildung 4: technische-sektorale Verteilung der Akteure in Berlin-Brandenburg

Wichtige Unternehmen der Kreislaufwirtschaft, hauptsächlich Recycling im Segment Batterie sind beispielsweise Alba Berlin GmbH, BASF Schwarzheide, Remondis (mit mehreren Standorten), Becker & Armbrust, Frankfurt (Oder) und Re-Metall (West-Lausitz).

1.5.3 Beispielgebende Akteure und Projekte der Kreislaufwirtschaft

Aus dem Untersuchungsraum seien die folgenden Unternehmen, Startups und Projekte beispielgebend für neue Unternehmensaktivitäten der Kreislaufwirtschaft genannt:

- **Betteries** AMPS GmbH¹⁶ mit 2nd-Life-Konzepten für Batteriemodule für mobile Energy Storage Systeme mit Anwendungen in autarken Energieinseln. Damit wird das Geschäftsmodell „Batteries as a Service“ bespielt. [6]

¹⁶ <https://betteries.com>, abgerufen am 21.10.2024

- **Encore**, ein Corporate Startup der DB/Bahnau Gruppe¹⁷ mit der Abbildung einer 2nd-Life-Prozesskette für Batteriespeicher. Partner sind Kia, DellCon, STABL Energy, inno2grid und DB Cargo. [6]
- Das Startup **Second Ride** bietet Umbausätze zur Elektrifizierung von 2-Takter Simson-Mopeds an¹⁸ und trägt damit zur Weiter- bzw. Umnutzung vormals CO₂-emittierender Zweiräder bei.
- Mit **Vitesco Technologies**¹⁹, **Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG**²⁰ und **eAx solutions GmbH**²¹ sind Motorenhersteller und -entwickler in der Hauptstadtregion angesiedelt, die zunehmend Nachhaltigkeitsaspekte in der Fertigung wie auch im Design berücksichtigen und Elektromotoren für die Kreislaufwirtschaft ertüchtigen.
- **Alba**, die **Remondis-Gruppe**, Berlin-Recycling, die **Jacob Becker-Gruppe** wie auch andere spezialisierte Entsorger sammeln Elektro-Altgeräte ein und ermöglichen das anschließende Recycling durch weitere Fachbetriebe [12].

Weitere Akteure der Hauptstadtregion sind in der Batteriestudie "Batteriekompetenzen in und um Brandenburg"²² sowie im Update 2024 in Landkarten dargestellt.

1.6 Aktuelle Entwicklung im Teilmarkt des Batterie-Recyclings

Ein große Recyclinganlage ist die im Sommer 2023 von BASF in Schwarzheide eröffnete. Die Kapazität beträgt nach Volllast (2024) 15.000 Tonnen. Noch mehr soll die geplante, aber durch Bürgerproteste fragliche, Recycling-Anlage von SungEel HighTec²³ in Gera-Cretzschwitz verarbeiten können (20.000 Tonnen). Die im September 2023 in Sülzetal bei Magdeburg in Betrieb genommene Recyclinganlage für Lithium-Ionen-Akkus²⁴ ist mit 16.000 Tonnen Zerlegekapazität eine der größten in Europa. Der kanadische Betreiber Li-Cycle wird durch den Rohstoff-Multi Glencore unterstützt.

¹⁷ <https://encore.deutschebahn.com/encore-de>, abgerufen am 21.10.2024

¹⁸ <https://second-ride.de>, abgerufen am 21.10.2024

¹⁹ Seit Oktober 2024 Teil der Schaeffler-Gruppe, vgl. <https://www.vitesco-technologies.com/de-de>, abgerufen am 21.10.2024

²⁰ <https://www.brose.com/de-de/unternehmen/standorte/berlin.html>, abgerufen am 21.10.2024

²¹ <https://eax-solutions.com>, abgerufen am 21.10.2024

²² Studie „Batteriekompetenzen in und um Brandenburg“, i-vector 2023 im Auftrag der WFBB, [https://energietechnik-bb.de/sites/default/files/2023-03/i-vector Studie Batteriekompetenzen Brandenburg 2023 03 21.pdf](https://energietechnik-bb.de/sites/default/files/2023-03/i-vector%20Studie%20Batteriekompetenzen%20Brandenburg%202023%2003%2021.pdf), abgerufen am 21.10.2024

²³ Vgl. <https://www.gera.de/wirtschaft/gewerbegebiete/wirtschaftsraum-osttangente/industriegebiet-cretzschwitz/ansiedlung-sungeel>

²⁴ Vgl. <https://www.mdr.de/sachsen-anhalt/magdeburg/boerde/suelzetal-recycling-autobatterien-eroeffnung-100.html>

In Sachsen sind mit Erlos in Zwickau (2024: 950 Tonnen installierte Kapazität) und Nickelhütte in Aue (4.000 Tonnen installierte Kapazität) zwei Unternehmen etabliert²⁵, die BEV-Batterien nachhaltig und im industriellen Maßstab zerlegen können. In Limbach-Oberfrohna bei Chemnitz erprobt Antriebszulieferer Vitesco Technologies (seit Oktober 2024 Schaeffler-Gruppe, vormals Continental) die Industrialisierung eines innovativen Recycling-Verfahrens für Lithium-Ionen- und Lithium-Eisenphosphat-Batterien.

Bundesweit sind unternehmensseitige Investitionen hervorzuheben: Im oberpfälzischen Landkreis Schwandorf plant das Recycling-Unternehmen Roth eine Anlage mit 9.000 Tonnen (Stand: 2023)²⁶. Eine 1.500-Tonnen-Recyclinganlage entsteht auf dem Werksgelände der Batteriezellfertigung von VW und Northvolt in Salzgitter. Ebenfalls im Norden entstehen weitere Recycling-Großanlagen für BEV-Batterien, etwa in Meppen (RE.LION.BAT. Circular GmbH) und Bremerhaven (Redwood Materials). Primobius, ein Joint Venture der australischen Neometals Ltd. und dem Düsseldorfer Anlagenbauer SMS Group betreibt in Hilchenbach (NRW) eine 20.000-Tonnen-Anlage. Im August 2024 hat die Rethmann-Tochter BLC die erste vollautomatische Tiefenentladungsanlage für Batterien in Magdeburg eröffnet²⁷ [12]. Hier sollen E-Fahrzeug-Akkus sicher und effizient für die Demontage und Verwertung vorbereitet werden. Die Verarbeitungskapazität geht bis zu 15.000 Tonnen Material pro Jahr. Perspektivisch soll anschließend eine robotergestützte Demontage ergänzt werden. Mercedes-Benz eröffnete als erster Automobilhersteller kürzlich (Oktober 2024) eine Batterie-Recycling-Anlage im süddeutschen Kuppenheim.

Allein die in der Batterieproduktion entstehenden Prozessausschüsse erhöhen die Notwendigkeit höherer Recycling-Kapazitäten. Hierzu müssen sich alle Akteure entlang der Wertschöpfung von der Materialsynthese über die Batteriezell-, Batteriemodul- und Batteriepackproduktion bis hin zur Nutzungsphase mit diesem Thema auseinandersetzen.

Insgesamt wird bundesweit die Zerlegekapazität der geplanten und in Betrieb befindlichen Anlagen zum Recycling von Batterien bis 2030 auf rund 100.000 Tonnen pro Jahr geschätzt. In Europa erreicht nur Schweden mit geplanten 135.000 Tonnen eine größere Kapazität (Northvolt). Auf den Plätzen dahinter folgen Spanien, Großbritannien und Frankreich.

²⁵ <https://battery-news.de/2023/01/27/batterie-recycling-in-europa-stand-01-2023>

²⁶ <https://www.unternehmeredition.de/baybg-investiert-in-recycling-spezialist-roth>

²⁷ <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/rethmann-tochter-blc-eroeffnet-vollautomatische-tiefenentladungsanlage-fuer-batterien-in-magdeburg-290824>

1.7 Good-Practice von Ansätzen der Kreislaufwirtschaft

Es werden hier einige Beispiele vorgestellt, die veranschaulichen, welche Nachnutzungsmöglichkeiten es über das Recycling hinaus für gebrauchte Komponenten von Elektrofahrzeugen gibt.

BMW Speicherfarm Leipzig: Im BMW-Werk in Leipzig ist seit 2017 ein **stationärer Großspeicher** in Betrieb, der aus 700 zusammengeschalteten Akkus des im Werk produzierten Kompaktwagenmodells i3 besteht. Alte und neue Akkus werden dabei gemischt eingesetzt. In diesem Speicher wird der auf dem Fabrikgelände erzeugte Solar- und Windstrom gespeichert, unter anderem aus vier 190-Meter-Windrädern, und dann für die Produktion genutzt. Zusätzlich wird Strom in das öffentliche Stromnetz eingespeist. „Zusammen mit den Windenergieanlagen verknüpft die BMW Speicherfarm Leipzig die dezentrale Eigenenerzeugung aus erneuerbaren Energien mit einem lokalen Energiespeicher sowie einem industriellen Großverbraucher“.²⁸

Netzbooster Kupferzell: Der Übertragungsnetzbetreiber TransnetBW errichtet derzeit in Kupferzell im Hohenlohekreis in der Region Heilbronn-Franken einen der weltweit größten **Batteriespeicher**. Geplant ist eine Speicherkapazität von 250 Megawatt, die in Batterie-Containern auf einer Fläche von viereinhalb Fußballfeldern installiert wird. Der „Netzbooster Kupferzell“, so der Projektname, soll bis Ende 2025 an das Netz gehen. Durch diesen Großstromspeicher sollen zuvor überlastete Stromnetze entlastet werden. Weitere Vorteile sind die höhere Auslastung des Übertragungsnetzes, die Reduzierung teurer Maßnahmen zur Umlenkung des durchfließenden Stromes, weniger Netzausbau-Bedarf und mehr Stromnetzkapazität.²⁹

Prinzipiell können Großspeicher, die unter anderem auch aus 2nd-Life-Batterien aus BEVs gebaut und betrieben werden können, Phasen aus Strommangel (Dunkelflauten) und Stromüberfluss (wind- und sonnenreiche Tage) überbrücken und somit für mehr Durchfluss im Stromnetz und zu mehr Energiesicherheit beitragen.

Technisch sind die Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter BEV-Akkus vielfältig möglich. Die hinreichend große Menge an gebrauchten BEV-Akkus fällt erst in einigen Jahren an. Ein 2nd-Life-Markt und die entsprechende Supply Chain beginnen sich erst allmählich zu entwickeln. Mit mittelfristig deutlich wachsenden Rücklaufmengen von Altbatterien wird die für einen Kreislauf nötige „kritische Menge“ zusammenkommen.

²⁸ Vgl. BMW, 2020

²⁹ Vgl. TransNetBW, 2024

Reparatur (Remanufacturing) von Gebrauchtbatterien der Marken Hyundai / Kia. durch die Fa. POEN Co., Ltd., Südkorea:

Motiv ist der Erhalt der Wertbeständigkeit von Batterien, die in Südkorea oft separat vom Fahrzeug durch eigene Finanzdienstleister, meist Versicherungsgesellschaften im Leasinggeschäft finanziert werden. Gegenwärtig werden Garantiefälle behandelt, d.h. statistisch verteilte Frühausfälle von Traktionsbatterien innerhalb der Garantiezeit. Dabei wird das Batteriesystem über das Batteriemanagementsystem BMS auf seine Leistungsfähigkeit inspiziert und fehlerhafte Batteriezellen identifiziert. Sind nur wenige betroffen, so lohnt sich ein modulweiser Zellentausch.

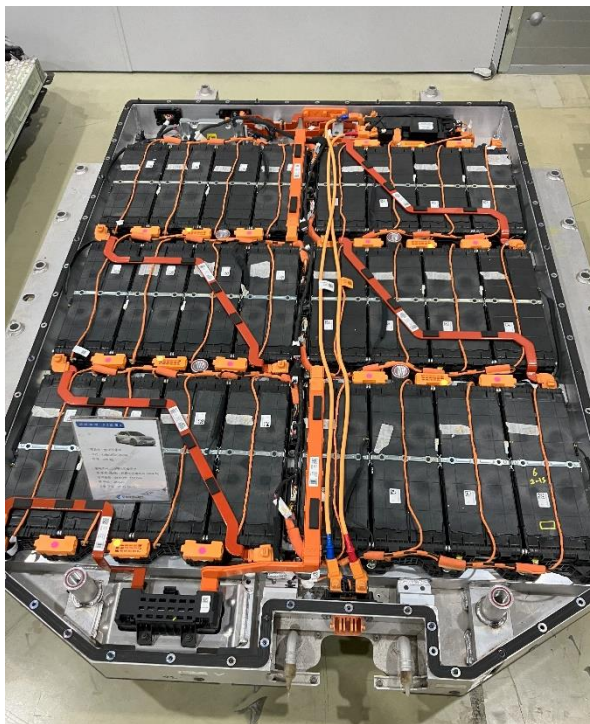


Abbildung 5: Cell-to-Pack-Design (Hyundai Kia)

Der Austausch einzelner Zellen ist derzeit mit den vorhandenen Modulpacks konstruktiv nicht möglich. Hier bietet sich ein weitergehendes Design-to-Remanufacturing-Konzept an, welches einen wirtschaftlichen Einzelzellentausch ermöglicht.

Diese identifizierten Batteriemodule werden entkontaktiert und durch vergleichbare – ähnlich gealterte wie die benachbarten – Zellen im Verbund ersetzt. So wird insgesamt der State of Health SoH des Gesamtsystems wieder auf den numerischen Durchschnittswert der Zellen angehoben. Nach Angaben des Unternehmens, das sich in der Wachstumsphase befindet, haben die

Reparaturen den Automobilherstellern mehr als 20 Mio. USD eingespart. Das Unternehmen errichtet derzeit weitere Standorte in den USA und in Deutschland. Das Serviceangebot umfasst nun auch die Elektrofahrzeuge von Volvo und wird um weitere Hersteller sukzessiv erweitert. In Südkorea befassen sich weitere Recycler wie EcoPro CnG Co., Ltd.³⁰, SungEel HiTech Co. Ltd.³¹, EVCC Co., LTD³² aktiv mit Pilotlinien der Batteriedemontage. Derzeit erfolgen die meisten Arbeitsschritte manuell bzw. mit manuell geführten

³⁰ <https://www.ecopro.co.kr/eng/sub010305>, abgerufen am 21.10.2024

³¹ <https://www.sungeelht.com/en>, abgerufen am 21.10.2024

³² <https://evc-c.com/>, abgerufen am 21.10.2024

Werkzeugen und Powertools insbesondere für das Säubern, der Demontage als auch das Öffnen der Batteriemodule und -zellen. Unter Arbeitssicherheits- und Wirtschaftlichkeitsaspekten stehen bald halb- und vollautomatisierte Lösungen an.

In einigen südkoreanischen Technoparks³³ werden neben den klassischen Batteriethemmen auch aktuell die Erfassung und Wiederaufbereitung/-verwertung von Elektromotoren und Komponenten der Leistungselektronik evaluiert und hinsichtlich technischer Lösungen untersucht. [21]

³³ Je zur Hälfte national und durch die jeweilige Provinz finanzierte Reallabore und Experimentierfelder der Kreislaufwirtschaft. In Korea haben sich in sechs Provinzen Technoparks zum Einsammeln und Wiederaufbereiten von Komponenten der Elektromobilität spezialisiert. So ist beispielsweise der Gyeongbuk TP angesiedelt in Pohang City, einem Zentrum der Kathodenmaterialherstellung spezialisiert auf die Themen der Kreislaufwirtschaft, Applikation und Wiederaufbereitung des Kathodenmaterials.

2 Erfassung von Bedarfen und Interessen der Beteiligten

In diesem Kapitel:

- Wo stehen wir in der Kreislaufwirtschaft von Komponenten der Elektromobilität?
- Welche Bedarfe werden von den Akteuren im Untersuchungsraum gesehen?
- Welche konkreten Herausforderungen und Potentiale bestehen hinsichtlich der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft für die charakteristischen Komponenten werden benannt?

2.1 Status quo Kreislaufwirtschaft von Komponenten in Elektro-Fahrzeugen

Die Kreislaufwirtschaft von Komponenten von E-Fahrzeugen steht noch am Anfang, da erst seit wenigen Jahren (2020/2021) ein nennenswertes Aufkommen von Elektrofahrzeugen BEV und Hybridfahrzeugen HEV zu verzeichnen ist.

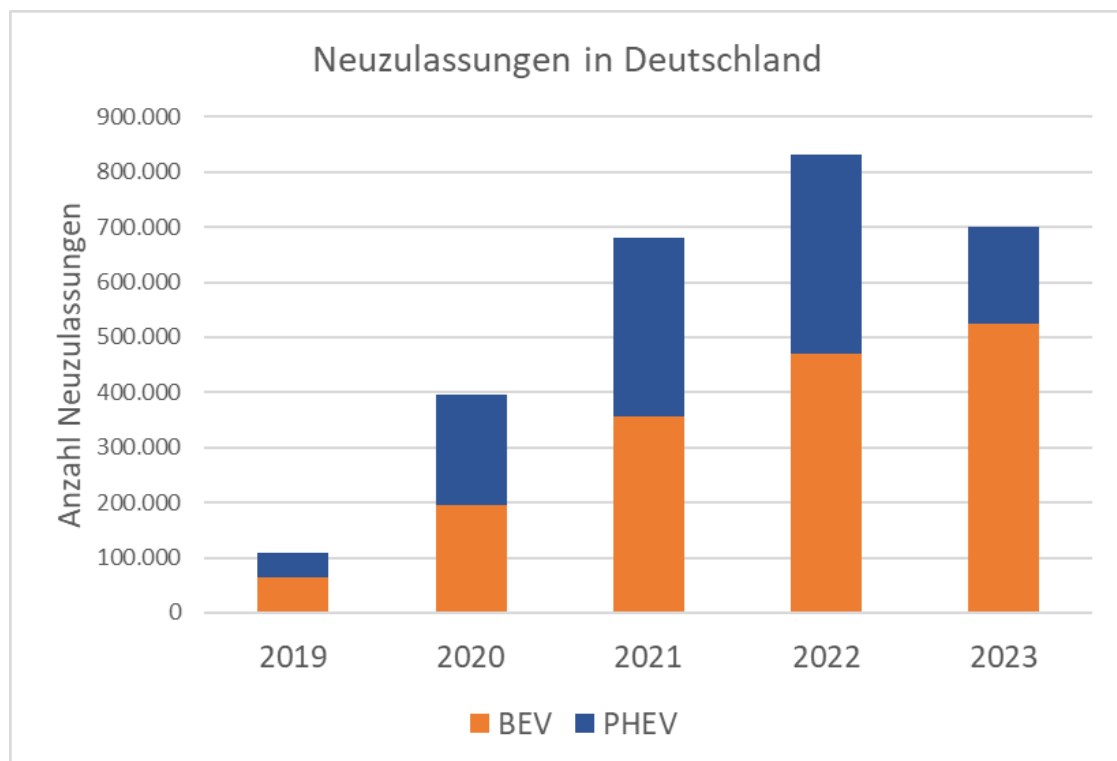


Abbildung 6: Absatz von E-Fahrzeugen, Quelle: Grafik i-vector nach Zahlen des VDA³⁴

³⁴ <https://www.vda.de/de/aktuelles/zahlen-und-daten/monatszahlen>, abgerufen am 23.10.2024

Wird von dem Graumarkt des organisierten Fahrzeugdiebstahls (spezifische Komponenten wie Autoradio und Airbags) und dem privaten Handel abgesehen, haben sich noch keine geschlossenen Ökosysteme für E-Fahrzeug-Komponenten herausgebildet.

In anderen, vergleichbaren Branchen hingegen haben sich seit langem Kreislaufwirtschaften etabliert:

- Elektrokleingeräte und Kommunikationselektronik (Rebuy u.a.)
- Haushaltsbatterien (GRS Batterien Service GmbH)
- PET-Flaschen (diverse Getränkehersteller und Handelsketten)
- Elektrogroßgeräte wie Kühlschränke, Waschmaschinen, ... (Elektrogerätesammelstellen der regionalen Entsorgungsbetriebe)
- Altpapier (kommunale Entsorger wie BSR sowie private Entsorger wie ALBA Group, Remondis, Veolia u.w.)
- Wiederverwertung von Textilien (SOEX Group, Texaid, diverse karitative Organisationen wie DRK, Caritas und Diakonie)
- Wertstofftonne (Duales System Deutschland GmbH, Remondis, ALBA Group, Veolia u.w.)
- Glas (diverse Entsorger).

Mit jeweils unterschiedlichen Verwertungsstrategien vom Wiederverkauf aufbereiteter Produkte über die Materialaufbereitung bis zum Export in Entwicklungsländer stellen diese etablierte Teilmärkte mit funktionierenden Geschäftsfeldern dar.

In den Bereichen der etablierten Fahrzeug-Wertschöpfungskette haben sich über die Zeit mehrere Kreislaufwirtschaften entwickelt. Beispiele für funktionierende Kreislaufwirtschaften im Kontext der Fahrzeugindustrie finden sich bei

- Starterbatterien (Blei-Säure-Batterien)
- Kabelbäumen (Kupfer)
- Elektromotoren³⁵
- Reifen
- Metall (Karosserie und Powertrain, Stahlschrott)
- Betriebsmittelfluide (Kältemittel, Bremsflüssigkeit, Altöl).

Im Bereich der Komponenten der Elektromobilität wird aufgrund des noch jungen Marktes erst in den kommenden Jahren bis 2030 mit einem nennenswerten Rücklauf

³⁵ Elektromotoren für Aggregate und Versteller sind eine eigene Klasse im Abfallbereich.

gerechnet. Derzeit stehen noch nicht viele reparaturträchtige Komponenten zur Verfügung. [10, 11] Bis dahin gilt es, entsprechende Reparatur-, Reuse- und Recyclingwege zu identifizieren und die technischen Voraussetzungen hierfür zu schaffen. Die einzelnen Komponenten sind für die Protagonisten interessant und bieten Potential. Allerdings wird in der Entsorgerszene befürchtet, dass die Automotive-OEMs die Nach- bzw. Weiternutzung im eigenen Kreislauf organisieren und keine Externen partizipieren können. Ähnlich ist die Situation bei Batteriesystemen. Die für Außenstehende verfügbaren Rückläufe sind noch zu gering, um hieraus Lösungen entwickeln zu können. [13]

2.2 Potentiale für Geschäftsmodelle in der Kreislaufwirtschaft

Der Reparatur und Wiederaufbereitungsgedanke ist an sich nicht neu und rückt zunehmend wieder in den Fokus. Ein Beispiel hierfür war die Motoreninstandsetzung im Daimler-Benz Werk Marienfelde, wo gebrauchte Pkw-Motoren (Verbrenner-Motoren) nach teilweise sehr hohen Laufleistungen, z.T. weit mehr als 1.000.000 km, inspiziert und wiederaufbereitet wurden³⁶. Dieses Angebot kam nicht nur Vielfahrern und Flottenbetreibern zugute, sondern diente als Lehrwerkstatt für die eigene Lehrlingsausbildung und gab der Motorenentwicklung im Werk wichtige Hinweise über Verschleißmechanismen und für die technologische Weiterentwicklung.

2.2.1 Ökonomische Perspektive

Die drei Systemkomponenten zeigen unterschiedliche Ausprägungen des Verschleißverhaltens, wofür sich entsprechend angepasste Reparatur-Strategien anbieten. In der nachfolgenden Tabelle ist das spezifische Verschleißverhalten abgebildet.



³⁶ Die Abteilung für Motoreninstandsetzung bei Daimler-Benz in Marienfelde bestand von 1946 bis 1995. In dieser Zeit war die Abteilung für die Instandsetzung und Wartung von Motoren zuständig, insbesondere für die Motoren von Nutzfahrzeugen und Pkw. Die Techniker und Mechaniker haben Motoren repariert, überholt und generalüberholt, um deren Lebensdauer zu verlängern und die Leistung zu optimieren. Die Abteilung spielte eine wichtige Rolle in der Qualitätssicherung und dem After-Sales-Service für Daimler-Benz.

Tabelle 3: Übersicht der technischen Spezifika im Verschleißverhalten

System	Charakteristikum	Verschleißverhalten	Reparatur-Strategien
Batteriesystem	stochastisch verteiltes Leistungsvermögen einer Vielzahl von in Serie geschalteter Einzelzellen, mehrere Strings parallel	stetig, graduell	Austausch von Modulen, Zellen
Hochvolt-Bordnetz	Kombination aus langlebigen Verkabelungselementen und verschleißträchtigen Elektronikbauteilen	disruptives Versagen, „Badewannenkurve“: Frühausfälle – Verschleißausfälle, stochastische Kontaktierungsprobleme	Austausch von Komponenten, Installation von Ersatzleitungen und Steckverbindern
Elektromotor	Langlebige mechanische Komponenten, Lager mit begrenzter Lebensdauer	„Badewannenkurve“	Austausch von Komponenten, z.B. Lager

Die Kreislaufwirtschaft ist ein ökonomischer Hebel, zu dessen Umsetzung Treiber benötigt werden. Diese sind bspw. Werthaltigkeit des Bauteils oder des Elements, Spezialisierung, Standardisierung, Kooperationen für bestimmte Bereiche oder regionale Sammelstellen für Mengenströme. [17] Voraussetzung ist eine grundsätzliche Wirtschaftlichkeit der Wiederverwertung, die gegeben sein muss. Beispielsweise verfügt das Fraunhofer IPK über eine Systematik zur Bewertung der Potentiale von Geschäftsmodellen. Diese ermöglicht eine frühzeitige Einbindung/ Verarbeitung verfügbarer Informationen, um den Business-Case ganzheitlich betrachten zu können. [18]

Tabelle 4: Mögliche Strategien der Wiederverwertung

System	Re-Use, 2 nd -Use	Repair	Recycling
Batteriesystem 	<ul style="list-style-type: none"> Re-Use als generalüberholtes System 2nd-Use in stationären Energiespeichern-/ puffern (ESS) 	<ul style="list-style-type: none"> Tausch (worn-out parts) Wiederaufbereitung (reconfiguration of cells) 	<ul style="list-style-type: none"> pyrometallurgisches R. hydrometallurgisches R. direktes „funktionelles“ Recycling
Hochvolt-Bordnetz 	<ul style="list-style-type: none"> Re-Use als generalüberholte Systemkomponenten, z.B. Wechselrichter 	<ul style="list-style-type: none"> Tausch und Wiederaufbereitung von Elektronik-Komponenten Reparatur des Bordnetzes 	<ul style="list-style-type: none"> mechanisches Trennen pyrometallurgisches R.
Elektromotor 	<ul style="list-style-type: none"> Re-Use als generalüberholtes System 	<ul style="list-style-type: none"> Tausch und Wiederaufbereitung von Motor-Komponenten (Stator, Rotor, Lager) 	<ul style="list-style-type: none"> mechanisches Trennen pyrometallurgisches R.

In der obenstehenden Tabelle sind für die drei Systemkomponenten unterschiedliche Strategien der Wiederverwertung exemplarisch beschrieben.

Zur Eruierung des ökonomischen Potentials der Kreislaufwirtschaft von Elektrofahrzeugen wurden im Rahmen dieses Kapitels über 20 Gespräche mit Akteuren im Untersuchungsraum geführt. Die Einzelaussagen lassen sich zu folgenden Sachverhalten zusammenfassen:

1. **Herausforderungen für Wiederverwerter und Entsorgungsbetriebe**

Der Markt für das Recycling und die Wiederverwertung der Komponenten von Elektrofahrzeugen wird zunehmend von großen, etablierten Entsorgungsbetrieben dominiert. Große Entsorger verfügen über ausgebaute Netzwerke für die Sammellogistik, die für die Skalierung der Kreislaufwirtschaft von Elektrofahrzeugen von großem Vorteil sind. [13] Diese Unternehmen agieren oft bundesländerübergreifend und können daher effizienter planen und Ressourcen nutzen. [13] Sie stehen jedoch vor der Herausforderung, den Übergang von der klassischen Elektroschrottentsorgung hin zur Verwertung von Hochvoltkomponenten (Batterien, Elektromotoren, Leistungselektronik) zu meistern, da diese Bauteile besonders wertvoll sind. [13] Zudem gibt es bei der Handhabung von Batterien und Elektromotoren besondere Gefahren, wie z. B. Brandgefahr und den Umgang mit Gefahrstoffen, die zusätzliche Anforderungen an die Infrastruktur und das Sicherheitsmanagement stellen.

Ein akutes Problem stellt die unsachgemäße Entsorgung von kleinen Lithium-Ionen-Batterien aus Haushaltsgeräten und Einmal-E-Zigaretten dar, die häufig in den falschen Müllströmen, wie dem Gelben Sack, landen. Diese Batterien verursachen Kurzschlüsse und Brände während des Transports und der Verarbeitung. [11, 13] Diese Gefahr verdeutlicht die dringende Notwendigkeit einer verbesserten Aufklärung und Sammelstrukturen für solche Batterien.

2. **Flächenverfügbarkeit und Genehmigung**

Ein weiteres Hindernis für den Ausbau der Kreislaufwirtschaft sind die Schwierigkeiten, geeignete Industriegrundstücke für Entsorgungs- und Wiederaufbereitungsanlagen zu finden. [12, 13] Diese Flächen sind gerade in der Hauptstadtregion knapp, und die Genehmigungsverfahren sind zeitaufwändig und komplex, was den Ausbau von Recyclingkapazitäten hemmt.

3. **Kostenstruktur und wirtschaftliches Potential**

Die wirtschaftliche Machbarkeit der Kreislaufwirtschaft hängt stark von den Kosten der Logistik und der Vorverarbeitung ab. Während der Reuse (Wiederverwendung von Komponenten) als wirtschaftlich leicht positiv eingeschätzt wird, zeigt sich das Repair (Reparatur) als wenig attraktiv. [17] Das Recycling von Batterien und Komponenten erfordert derzeit erhebliche finanzielle Zuschüsse und ist damit wirtschaftlich oft noch nicht rentabel, was eine Hürde für die Skalierung

darstellt. Traktionsbatterien erfordern zudem eine Hinterlegung von finanziellen Rückstellungen für die zukünftigen Pflichten der Rücknahme, was direkte Auswirkungen auf die Bilanzen der Unternehmen hat. [17]

4. **Standardisierung und Skalierbarkeit**

Ein zentrales Element für den Erfolg der Kreislaufwirtschaft ist die Standardisierung. Standards ermöglichen die effiziente Skalierbarkeit von Demontage- und Recyclingprozessen und sorgen für reibungslose Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Akteuren der Wertschöpfungskette, von den Automobilherstellern bis zu den Recyclingunternehmen. [1, 17] Ohne einheitliche Normen und Protokolle bleibt die Skalierung schwierig und ineffizient. [18]

5. **Kooperationen mit Automobilherstellern**

Die Kontrolle der Wertschöpfungskette durch Automobilhersteller ist ein kritischer Punkt. Die Hersteller haben das Bestreben zu entscheiden, wie und wo die Verwertung ihrer Fahrzeuge und Komponenten stattfindet. Es besteht das Risiko, dass regionale Entsorger und Recycler von dieser Wertschöpfung ausgeschlossen werden, wenn sie nicht in Kooperationen mit den Herstellern eingebunden sind. Diese Partnerschaften sind essenziell, um Zugang zu den Altteilen und wertvollen Materialien zu erhalten. [13]

6. **Potentiale in Berlin-Brandenburg in der Wiederverwertung gebrauchter Traktionsbatterien**

Besonders in der Region Berlin-Brandenburg wird ein Potential gesehen, insbesondere in den Bereichen Diagnose, Klassifizierung, Logistik, Handhabung und Lagerung von gebrauchten Traktionsbatterien. [12, 13] Diese Region könnte durch ihr vorhandenes Wissen und Netzwerk eine Vorreiterrolle in der Kreislaufwirtschaft für Elektrofahrzeuge übernehmen. [17] Hier spielt auch die Nähe zu politischen Entscheidungsträgern eine sichtbare Rolle, um die notwendigen Regulierungen und Standards mitzugestalten.

Die Kreislaufwirtschaft von Elektrofahrzeugen steht vor einer Vielzahl von Herausforderungen, aber auch Chancen. Es gibt bereits etablierte Akteure, die mit großen Netzwerken und logistischer Infrastruktur die Grundlagen geschaffen haben, um Elektrofahrzeugkomponenten zu sammeln und zu recyceln. Der Erfolg dieser Systeme hängt jedoch von einer verbesserten Standardisierung, der Skalierbarkeit, der Kooperation zwischen Entsorgern und Automobilherstellern sowie der Schaffung neuer Recyclingkapazitäten ab.

2.2.2 **Sozio-ökonomische Perspektive**

Die Wiederverwertung von Komponenten wie Batteriesystemen, Elektromotoren und Hochvoltelektronik aus Elektrofahrzeugen aus einer sozio-ökonomischen Perspektive

lässt sich durch verschiedene Einflussfaktoren und Entwicklungen betrachten. Die genannten Teilaspekte spiegeln verschiedene Ebenen wider, die zusammen ein komplexes Bild der Herausforderungen und Chancen der Kreislaufwirtschaft in der Elektromobilität zeichnen.

1. **Berlin als Innovationszentrum und Keim für Transformation**

Berlin und die Hauptstadtregion spielen eine Schlüsselrolle als Innovationstreiber für die Elektromobilität. Mit zahlreichen Startups und innovativen Unternehmen hat die Region das Potential, neue Technologien und Geschäftsmodelle für die Wiederverwertung von Elektrofahrzeugkomponenten zu entwickeln. [5] Die Expertise und Kreativität, die in der Hauptstadtregion vorhanden sind, könnten dazu beitragen, innovative Lösungen für das Recycling, Reuse und Repair von Batteriesystemen, Elektromotoren und Hochvoltelektronik zu schaffen. Diese neuen Ansätze werden notwendig, um die Elektromobilität nachhaltiger zu gestalten und können die Hauptstadtregion als Trendsetter für nachhaltige Transformation zu etablieren.

2. **Paradigmenwechsel: Von Obsoleszenz zur Reparaturfähigkeit**

Ein entscheidender Paradigmenwechsel in der sozio-ökonomischen Betrachtung betrifft den Wandel vom Obsoleszenzgedanken hin zur Reparaturfähigkeit. Während Produkte früher oft auf eine begrenzte Lebensdauer ausgelegt waren, um den Neukauf zu fördern, gewinnt heute die Reparaturfähigkeit an Bedeutung. [6]



Abbildung 7: Zusammenhänge der drei Nachhaltigkeitsdimensionen in der Marktentwicklung

Dies wird insbesondere bei Elektrofahrzeugen erwartet, wo es immer wichtiger wird, dass Batterien, Elektromotoren und Hochvoltelektronik nicht nur ausgetauscht, sondern auch repariert und wiederverwendet werden können. Dieser Wandel ist auch in anderen Branchen erkennbar, wie zum Beispiel bei Fairphone, das reparierbare Mobiltelefone herstellt. Die Wiederverwertung komplexer und sicherheitsrelevanter Komponenten erfordert neue Ansätze für „Design for Circularity“.

3. **Sozio-ökonomische Entwicklungen: Kooperation statt Wettbewerb**

Die zukünftige Arbeitswelt könnte sich in Richtung einer kooperativeren Struktur entwickeln, was auch die Kreislaufwirtschaft beeinflusst. Kooperationsformen zwischen Produzenten und Konsumenten könnten an Bedeutung gewinnen, bei denen Konsumenten eine größere Rolle bei der Pflege, Wartung und Reparatur von Elektrofahrzeugen übernehmen. [9] In diesem Zusammenhang muss jedoch geklärt werden, inwieweit Verbraucher in sicherheitsrelevante Bereiche wie Batterien und Hochvoltsysteme eingreifen können. Dabei stellt sich die Frage, welche Informationen offengelegt werden müssen, um eine verantwortungsvolle und sichere Mitwirkung der Nutzer zu gewährleisten. Dies könnte zu einer Verlagerung von Arbeitsaufgaben vom Produzenten zum Nutzer führen³⁷.

4. **Mündige und verantwortungsbewusste Konsumenten**

Eine erfolgreiche Circular Economy verlangt mehr Beteiligung und Verantwortung von den Konsumenten. [9] Die Nutzer von Elektrofahrzeugen müssen nicht nur bereit sein, nachhaltige Entscheidungen zu treffen, sondern auch bereit sein, sich aktiv an der Wartung und Wiederverwertung der Fahrzeuge zu beteiligen. Dies könnte ethische Fragen aufwerfen, da es erfordert, dass Konsumenten in der Lage sind, informierte Entscheidungen zu treffen. Dazu gehören Kenntnisse darüber, wie Batterien mehrfach genutzt, repariert oder recycelt werden können³⁸. [9] Dieser Wandel erfordert auch eine stärkere Aufklärung und Informationsverbreitung, um die Konsumenten entsprechend zu befähigen.

5. **Recyclingvorgaben und politische Rahmenbedingungen**

Ein weiteres sozio-ökonomisches Problem betreffen auch die gesetzlichen Vorgaben für das Recycling von Elektromobilen. Laut EU-Gesetz müssen Mindestquoten an recyceltem Material in neue Batteriezellen eingebracht werden. Das widerspricht jedoch dem Bestreben, Batterien möglichst oft wiederzuverwenden, da weniger Material für das Recycling zur Verfügung steht, wenn Reuse bevorzugt

³⁷ wie es bei IKEA mit dem selbständigen Aufbau von Möbeln Mitte der 70-er Jahre begann

³⁸ Circular Economy Roadmap für Deutschland, acatech/Circular Economy Initiative Deutschland/SYSTEMIQ (Hrsg.), <https://www.circular-economy-initiative.de>

wird. Dies zeigt den Konflikt zwischen Reuse und Recycling, der nur durch eine Anpassung der politischen Rahmenbedingungen gelöst werden kann. Die Politik muss also Wege finden, Reuse zu fördern, ohne dabei das Recycling zu vernachlässigen. [18]

6. **Qualifiziertes Personal und Spirit für die Transformation**

Die Hauptstadtregion verfügt über ein breit-gefächertes qualifiziertes Personal, das den nötigen Spirit für die Transformation mitbringt. [5] Die erfolgreiche Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft für Elektrofahrzeuge erfordert nicht nur technisches Know-how, sondern auch eine kulturelle Veränderung hin zu mehr Kooperation, Offenheit und Innovationsbereitschaft. Diese Transformation könnte in Berlin beginnen und von dort aus auf andere Regionen ausstrahlen.

Die Wiederverwertung von Batteriesystemen, Elektromotoren und Hochvoltelektronik im Rahmen der Elektromobilität ist nicht nur eine technische, sondern auch eine sozio-ökonomische Herausforderung. Es geht um den Paradigmenwechsel hin zu mehr Reparaturfähigkeit und Wiederverwendung, um die stärkere Einbindung von Konsumenten in die Pflege und Wartung ihrer Fahrzeuge und um die Schaffung neuer Kooperationsmodelle zwischen Produzenten und Nutzern. Die Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg hat das Potential, als Innovationsmotor in der Kreislaufwirtschaft eine führende Rolle zu übernehmen, indem sie durch ihre vielfältigen Akteure und qualifiziertes Personal Lösungen entwickelt, die die Elektromobilität nachhaltiger gestalten.

2.2.3 **Fokusbetrachtung Batteriesystem**

Die Wiederverwertung von Batteriesystemen in Elektrofahrzeugen, insbesondere nach ihrem Einsatz im Fahrzeug, wird derzeit angegangen und wird eine zentrale Rolle in der Kreislaufwirtschaft von Komponenten der Elektrofahrzeuge spielen. Dieser Prozess umfasst mehrere Phasen und beinhaltet mehrere Herausforderungen, die aus technischer, wirtschaftlicher und regulatorischer Sicht zu betrachten sind:

1. **2nd-Life als zentraler Baustein der Kreislaufwirtschaft**

Der Einsatz einer Batterie in einem Batterie-elektrischen Fahrzeug (BEV) ist nur ein Teil ihres Lebenszyklus. Nach Erreichen des Endes des 1st-Life, wenn die Ladekapazität auf 70-80 % gesunken ist, kann sie noch in sogenannten 2nd-Life-Anwendungen weitergenutzt werden. Diese Phase verlängert die Nutzungsdauer der Batteriezellen um weitere sechs bis zehn Jahre und spielt eine entscheidende Rolle in der Kreislaufwirtschaft. 2nd-Life-Nutzungen umfassen:

- Stationäre Energiespeicher zur Zwischenspeicherung erneuerbarer Energien (PV- und Windkraft)

- Netzstabilisierung durch den Ausgleich von Schwankungen im Stromnetz
- Notstromversorgung für Krankenhäuser, Unternehmen und Haushalte
- Ladestationen für Elektrofahrzeuge oder E-Bikes

Diese Second-Life-Anwendungen tragen nicht nur zur Verlängerung der Lebensdauer der Batterien bei, sondern bieten auch wichtige Vorteile für das Stromnetz und die Integration erneuerbarer Energien.

2. **Materialwert und Ressourcenpotential**

Die Zusammensetzung eines typischen Lithium-Ionen-Akkus, wie etwa der 50-kWh-Batterie von Volkswagen, zeigt das große Potential zur Rückgewinnung von wertvollen Metallen. Eine Batterie mit einem Gewicht von rund 400 kg enthält signifikante Mengen an Rohstoffen wie 41 kg Nickel, 12 kg Mangan, 9 kg Kobalt und 8 kg Lithium. Hinzu kommen große Mengen an Kupfer, Aluminium und Stahl aus dem Batteriegehäuse. Werden diese Rohstoffe effizient zurückgewonnen, könnte dies die Nachfrage nach Primärrohstoffen erheblich reduzieren. Für die Kreislaufwirtschaft insgesamt ist dies ein wichtiger Schritt, um die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu verringern.

3. **Technologische Herausforderungen beim Recycling**

Nach dem 2nd-Life-Einsatz wird das Batteriesystem schließlich dem Recycling zugeführt. Hier stehen die Industrie und das Recycling-Ökosystem jedoch vor großen technischen Herausforderungen. Aktuell ist das automatisierte Öffnen und Demontieren der Batteriegehäuse noch nicht ausreichend weit entwickelt, was den Recyclingprozess verlangsamt und verteuert. Besonders problematisch sind Verklebungen und Einschäumungen der Zellen, die das Demontieren einzelner Batteriezellen erschweren bzw. verhindern. Neue Designtrends wie Cell-to-Chassis-Konzepte verschärfen dieses Problem, da sie eine noch festere Integration der Zellen in das Fahrzeug vorsehen. [4]

Das metallurgische und mechanisch-chemische Recycling stellt eine weitere Herausforderung dar. [21] Trotz der hohen Konzentration an wertvollen Rohstoffen ist es nach wie vor Aufgabe, diese effizient und kostengünstig zu extrahieren.

4. **Wirtschaftliche und logistische Herausforderungen**

Die Wiederverwertung von Batteriesystemen steht jedoch vor erheblichen wirtschaftlichen und logistischen Herausforderungen. Die Handhabung und der Transport von Batterien erfordern spezielle Lösungen, da es sich um Gefahrgut handelt. Zudem fehlen oft Lagerkapazitäten, um große Mengen an gebrauchten Batterien sicher zu lagern. Normale Logistiker können in der Regel nur bis zu 5 Tonnen transportieren, was für große Mengen an gebrauchten Batterien unzureichend ist. [17] 2nd-Life-Lösungen wie der Einsatz von Batterien in stationären Speichern sind

wirtschaftlich attraktiv, jedoch ist das Recycling selbst (z. B. das Zerlegen und Extrahieren der Rohstoffe) noch relativ teuer. Aktuell wird Recycling in vielen Fällen sogar subventioniert, was zeigt, dass das Geschäftsmodell ohne finanzielle Unterstützung hier noch nicht tragfähig ist.

5. **Regulatorische Rahmenbedingungen und Sicherheitsaspekte**

Die Wiederverwertung und das Recycling von Batterien unterliegen strengen regulatorischen Vorgaben. Da es sich bei den Batterien um Gefahrgut und in manchen Fällen um Gefahrstoffe handelt, müssen Unternehmen spezifische Genehmigungen und Zertifizierungen einholen, um die Batterien transportieren, lagern und recyceln zu dürfen. [17] Diese Regularien sind notwendig, um Umwelt- und Sicherheitsrisiken, wie die Brandgefahr durch Lithium-Ionen-Batterien, zu minimieren.

6. **Umwelt- und Ressourcenschonungspotential**

Die effiziente Wiederverwertung und das Recycling von Batterien leisten einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung und Umweltentlastung. Da die Rohstoffe in den Batterien knapp und teuer sind, bietet die Rückgewinnung dieser Materialien einen erheblichen ökologischen und ökonomischen Vorteil. Durch die Kreislaufführung dieser wertvollen Rohstoffe kann die Nachhaltigkeit der Elektromobilität insgesamt erheblich gesteigert werden.

Ein Beispiel für die Menge an potentiellem Schrott zeigt, dass allein Volkswagen im ersten Halbjahr 2023 34.414 Elektrofahrzeuge in Deutschland verkauft hat. Wenn diese Fahrzeuge am Ende ihres 1st Life stehen, würden fast 10.000 Tonnen Metallschrott und 722 Tonnen Kunststoffschrott anfallen. Dies unterstreicht das enorme Potential für eine nachhaltige Nutzung der Materialien durch Recycling.

Die Wiederverwertung von Batterien in der Kreislaufwirtschaft von Elektrofahrzeugen ist ein komplexer, aber vielversprechender Prozess. Der 2nd-Life-Einsatz von Batterien bietet eine wichtige Brücke, um ihre Lebensdauer zu verlängern. Die technologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen beim Recycling müssen jedoch noch gelöst werden, um den Prozess kosteneffizient zu gestalten.

2.2.4 Fokusbetrachtung Elektromotor

Die Wiederverwertung der Fahrmotoren aus Elektrofahrzeugen ist nach dem Batteriesystem der Business-Case, der sich als nächster erschließen kann. Folgende Aspekte wurden hierzu angeführt:

1. **Technologische und wirtschaftliche Treiber der Kreislaufwirtschaft**

Die technologischen Innovationen in der Demontage und im Recycling von Elektromotoren sind entscheidende Treiber für die Entwicklung der Kreislauf-

wirtschaft. Die Bereitstellung kosteneffizienter und umweltschonender Demontage- und Recyclingprozesse für die verschiedenen Materialien und Komponenten (Kupfer, Magneten, Blechpakete, Gehäuse) ist nicht nur ein ökologischer Vorteil, sondern auch eine wirtschaftliche Notwendigkeit.

Um die wirtschaftliche Rentabilität des Recyclings und der Wiederverwertung sicherzustellen, ist eine Skalierbarkeit der Prozesse erforderlich. Das bedeutet, dass standardisierte Verfahren entwickelt werden müssen, die sowohl große Mengen an Elektromotoren effizient recyceln können als auch anpassbar genug sind, um mit neuen technologischen Produktentwicklungen Schritt zu halten.

2. ***Vielfalt der Materialien und Komponenten***

Die Kreislaufwirtschaft bei Elektromotoren wird nicht nur durch die Wiederverwertung von Kupfer angetrieben, sondern durch eine Vielzahl von Materialien und Komponenten, die wertvolle Ressourcen darstellen.

- Als zentraler Rohstoff für Elektromotoren ist Kupfer ein wirtschaftlich bedeutendes Material, dessen Recycling besonders attraktiv ist. Es trägt zur Verringerung der Abhängigkeit von Primärrohstoffen und zur Ressourcenschonung bei.
- Elektromotoren bestehen aus Gehäusen, Getrieben, Blechpaketen und anderen Bauteilen. Diese Teile, insbesondere die Trafobleche (Blechpakete) aus Weicheisen, sind langlebig und verschleißern nicht. Das bedeutet, dass sie häufig in ihren ursprünglichen Funktionen wiederverwendet werden können, was den Wiederverwendungsaspekt (Reuse) fördert. [4] Eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft muss daher auf die gesamte Wertschöpfungskette der Materialien und Bauteile eingehen, nicht nur auf einzelne Rohstoffe.
- Getriebe und Gehäuse können in vielen Fällen direkt wiederverwendet werden, wodurch die Reparatur oder Aufbereitung (Remanufacturing) eine wirtschaftlich attraktive Möglichkeit darstellt. Hier bietet sich auch Potential für regionale Werkstätten und Zulieferbetriebe, durch den Ausbau solcher Wiederaufbereitungsprozesse zur Schaffung neuer Arbeitsplätze und Einnahmequellen.

3. ***Spezialthema Permanentmagneten und Seltene Erden***

Ein spezifisches und bedeutendes Thema im Recycling von Elektromotoren sind die Permanentmagneten, die in vielen Elektromotoren zum Einsatz kommen und häufig Seltene Erden wie Dysprosium und Neodym enthalten. [4]

- Recycling von Rohstoffen: Diese Materialien sind wirtschaftlich besonders wertvoll und ressourcenintensiv in der Gewinnung. Ihr Recycling ist jedoch technisch anspruchsvoll und benötigt spezialisierte Verfahren. Durch die Rückgewinnung dieser seltenen Rohstoffe kann nicht nur die Rohstoffverfügbarkeit erhöht, sondern auch die Abhängigkeit von Importen, insbesondere aus geopolitisch sensiblen Regionen, reduziert werden.
- Wiederverwendung von Magneten: Neben dem Recycling der Rohstoffe gibt es auch Potential für die Wiederverwendung der Magneten selbst. Wenn diese nicht beschädigt sind, können sie aus alten Motoren ausgebaut und in neuen Motoren oder anderen Anwendungen wiederverwendet werden. Dies ist ein wichtiger Aspekt der Kreislaufwirtschaft, der die Notwendigkeit der Rohstoffgewinnung verringern könnte. Die Entwicklung effizienter Demontage- und Reinigungsverfahren für diese Magneten ist daher von großem Interesse.

4. **Potentiale in der Vernetzung der Transformationsregionen**

Die Vernetzung verschiedener Regionen, die sich bereits auf Elektromotoren spezialisiert haben, ist ein wichtiger Faktor für die Skalierung der Kreislaufwirtschaft. Regionen wie Franken, wo Unternehmen wie Brose, Schaeffler und Schlaeger M-Tech tätig sind, spielen eine entscheidende Rolle, da sie über technisches Wissen und Fertigungskompetenzen im Bereich von Traktionsmotoren verfügen. [4] Diese Unternehmen sind nicht nur Hersteller von Elektromotoren und deren Komponenten, sondern auch potentielle Akteure in der Wiederverwertung und dem Recycling. Die Zusammenarbeit von Regionen mit solchen Industrieführern und spezialisierten Unternehmen ermöglicht es, Wissen und Infrastruktur für den Recyclingprozess von Elektromotoren zu bündeln. Diese Vernetzung könnte die Effizienz steigern, Synergien schaffen und die Entwicklung von Standardprozessen für die Wiederverwertung und das Recycling von Elektromotoren vorantreiben.

2.2.5 **Fokusbetrachtung Hochvoltbordnetz**

Die Wiederverwertung von Komponenten des Hochvoltbordnetzes mit Leistungselektronik und Hochvoltverkabelung in Elektrofahrzeugen bietet aufgrund der enthaltenen wertvollen Materialien, wie etwa Kupfer, erhebliche Potentiale. Gleichzeitig gibt es jedoch Herausforderungen, insbesondere bei der Wiederverwendung von Elektronikbauteilen, die sicherheitsrelevant sind.

1. **Kupferanteil mit wirtschaftlichem Potential**

Das Hochvoltbordnetz eines Elektrofahrzeugs enthält im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren eine signifikant höhere Menge an Kupfer, vor allem in

den Hochvoltverkabelungen. [4] Kupfer ist ein zunehmend wertvoller werdender Rohstoff, der im Rahmen der Kreislaufwirtschaft durch Recycling effizient zurückgewonnen werden muss.

2. **Wiederverwertung von Elektronikbauteilen**

Neben Kupfer enthalten die Leistungselektronik und Elektronikbausteine des Hochvoltbordnetzes viele weitere wertvolle Materialien, die recycelt werden können. Hierzu gehören unter anderem Leiterbahnen und Halbleiter, die in den Steuergeräten, Wechselrichtern und anderen elektronischen Komponenten verwendet werden. Diese Bauteile bestehen aus seltenen Erden, Edelmetallen und Halbleitermaterialien, die ebenfalls recycelt und wiederverwendet werden können. Die Wiederverwendung elektronischer Bauteile aus dem Hochvoltbordnetz ist jedoch durch mehrere Faktoren eingeschränkt. Ein bedeutendes Hindernis ist die Tatsache, dass Halbleiter altern und daher nur begrenzt wiederverwendbar sind. [4] Insbesondere bei sicherheitsrelevanten Komponenten (z. B. Steuerungen für das Batteriemanagement oder die Motorsteuerung) besteht das Risiko, dass die Alterung oder der Verschleiß dieser Bauteile ihre Zuverlässigkeit beeinträchtigen könnte. Daher wird die direkte Wiederverwendung oft als schwierig angesehen.

3. **Sicherheitsaspekte und technische Herausforderungen**

Bauteile, die in Hochvoltssystemen von Elektrofahrzeugen verwendet werden, müssen strenge Sicherheitsstandards erfüllen, da sie für den Betrieb des Fahrzeugs essenziell sind und bei Fehlfunktionen erhebliche Sicherheitsrisiken darstellen können.

Das Verschleißverhalten elektronischer Bauteile, wie beispielsweise von Halbleitern, ist noch nicht vollständig verstanden und lässt sich für einen 2nd-Use schwer antizipieren. Dies führt dazu, dass die direkte Wiederverwendung gebrauchter Elektronikbauteile mit Unsicherheiten verbunden ist, insbesondere im Hinblick auf ihre Lebensdauer und Funktionstüchtigkeit.

4. **Innovationsdruck und technologisches Potential**

Die Herausforderungen im Bereich der Wiederverwendung elektronischer Komponenten eröffnen jedoch auch Chancen für technologische Innovationen. Es besteht Forschungsbedarf, um das Verschleißverhalten und die Lebensdauer elektronischer Bauteile in Hochvoltssystemen besser zu verstehen und zu antizipieren. Wenn es gelingt, das Alterungsverhalten von Halbleitern und anderen sicherheitsrelevanten Bauteilen besser zu prognostizieren, könnten in Zukunft effizientere Wiederverwendungsmöglichkeiten entwickelt werden. Technologische Innovationen könnten auch dazu führen, dass modularere und standardisiertere Bauteile

entwickelt werden, die sich leichter austauschen und wiederverwenden lassen, ohne dass die Sicherheit beeinträchtigt wird. [1]

2.2.6 Fokusbetrachtung Produktionssystem für Leichtfahrzeuge und Wechselakkusysteme

Ergänzend zu den drei spezifischen Komponenten der Elektromobilität wurden in den Fachrunden und Gesprächen auch die Potentiale der Etablierung von Produktionskapazitäten für Leichtfahrzeuge und Wechselakkusysteme in der Region Berlin-Brandenburg diskutiert. [1, 18, 19] Diese stehen in einem engen fachlichen Bezug zueinander. Die genannten Punkte verdeutlichen, wie diese Ansätze miteinander verbunden sind und Synergien ermöglichen.

1. *Wechselakkusysteme und Leichtfahrzeuge*

Wechselakkusysteme für Leichtfahrzeuge und größere Powertools bis hin zu Speichern für Balkonkraftwerke bieten enormes Potential für die Flexibilität und Nachhaltigkeit in der Mobilität. Durch die standardisierte Nutzung von Wechselakku, die zwischen verschiedenen Fahrzeugen und Geräten austauschbar sind, wird ein kreislauffähiges System unterstützt, das die Wiederverwendbarkeit und den Austausch defekter oder abgenutzter Akkus erleichtert. Diese Systeme fördern die Lebensdauererlängerung der eingesetzten Batterien, da sie nicht fest in den Fahrzeugen verbaut sind, sondern ausgetauscht und gewartet werden können. Dies reduziert den Abfall und die Notwendigkeit, neue Akkus zu produzieren, was direkt zur Kreislaufwirtschaft beiträgt.

2. *Integration von Leichtfahrzeug- und Zweirad-E-Mobilität*

Die Region Berlin-Brandenburg könnte das CO₂-Reduktionspotential der Leichtfahrzeug- und Zweirad-E-Mobilität nutzen, insbesondere durch die Integration von Wechselakkusystemen in E-Motorräder. Dies würde nicht nur etablierten Motorradherstellern helfen, den CO₂-Fußabdruck ihrer Produkte zu verringern, sondern auch eine breitere Palette an Fahrzeugen auf dem Markt schaffen, die Wechselakku verwenden. Diese standardisierten Akkus könnten sowohl in Leichtfahrzeugen als auch in E-Motorrädern und anderen E-Fahrzeugen verwendet werden, was den Markt verbreitert und wirtschaftliche Skaleneffekte schafft.

3. *Nutzung und Bündelung der Produktionskapazitäten in der Hauptstadtregion*

Die Produktionskapazitäten der in Berlin-Brandenburg angesiedelten Industrie-

betriebe³⁹ könnten für die Serienproduktion von Leichtfahrzeugen und Wechselakkusystemen genutzt werden. Durch die Bündelung von Engineering-Dienstleistern, Software- und Plattformanbietern sowie internationalen Zulieferern könnten hochintegrierte Produktionssysteme entstehen, die nicht nur die Serienherstellung von Leichtfahrzeugen, sondern auch die Entwicklung von Kreislaufsystemen für Batterien und Elektromotoren ermöglichen.

Eine enge Kooperation zwischen diesen Unternehmen und Akteuren der Kreislaufwirtschaft könnte dazu beitragen, dass neue, wiederverwendbare und reparierbare Komponenten entwickelt werden, die für ein nachhaltiges Wirtschaften notwendig sind.

4. Globale Vernetzung und Wettbewerbsfähigkeit

Die Produktion und das Recycling von Leichtfahrzeugen und Wechselakkusystemen muss global gedacht werden, insbesondere in Hinblick auf Märkte wie Indien, China und Südostasien. Diese Regionen sind nicht nur Produktionszentren, sondern auch große Märkte für Leichtfahrzeuge und E-Mobilität.

Durch den Aufbau globaler Produktionsnetzwerke können in Berlin-Brandenburg entwickelte Systeme international skaliert werden, was den Marktanteil erhöht und die Wettbewerbsfähigkeit stärkt. Gleichzeitig könnten Produktionsstandorte in diesen Ländern als Knotenpunkte für das Recycling und die Wiederverwertung von Komponenten dienen, was die Rückführung von Rohstoffen in den globalen Kreislauf unterstützt.

5. Wettbewerbsvorteil durch Kreislaufwirtschaft

Die Verknüpfung von Produktionssystemen mit den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft bietet den Unternehmen der Region einen klaren Wettbewerbsvorteil. Durch die Fähigkeit, wiederverwendbare und recyclingfreundliche Produkte anzubieten, können sich Unternehmen in einem zunehmend umweltbewussten globalen Markt differenzieren. Dies wird besonders wichtig, da Regierungen und Kunden weltweit nach nachhaltigeren Lösungen verlangen.

Die Entwicklung und Herstellung von Leichtfahrzeugen und Wechselakkusystemen in Berlin-Brandenburg bietet erhebliche Synergien mit der Kreislaufwirtschaft, insbesondere durch die Integration von standardisierten Batterien, die in verschiedenen Anwendungen genutzt werden können. Diese Systeme fördern nicht nur die Nachhaltigkeit durch Wiederverwertung und Verlängerung der Lebenszyklen, sondern schaffen auch neue

³⁹ beispielsweise durch Unternehmen wie ZF-Brandenburg, Photon u.v.a.

wirtschaftliche Chancen für die Region. Die globale Vernetzung und die Möglichkeit, diese Technologien international zu skalieren, würden Berlin-Brandenburg zu einem potentiellen Innovationszentrum im Bereich Elektromobilität und Kreislaufwirtschaft machen.

2.3 Entwicklungs- und Forschungsbedarf

Grundsätzlich gibt es einen Entwicklungs- und Forschungsbedarf an vielen Stellen der Prozesskette, begonnen bei der Bauteilidentifikation, Funktions- und Leistungsfähigkeitstests, Trenn- und Sortiertechnik, Logistik bis hin zur Automatisierungs- und Prozesstechnik einschließlich der Bauteil- und Materialerkennung. In den Tiefeninterviews konnten einige Bedarfe spezifiziert werden.

Die notwendigen Schritte im Innovationsprozess müssen von der Anwendung, vom Produkt ausgehend gedacht werden, danach kommen erst die Investitionserfordernisse und die Innovationen selbst, zum Schluss der Entwicklungs- und Forschungsumfang. [1] Idealerweise ist das Produkt von Anfang an so denken, dass es kreislauffähig wird. Wichtig sind eine frühzeitige Einbindung aller verfügbaren Informationen und ein ganzheitlicher Ansatz. [18] Dabei besteht ein großer Nachholbedarf hinsichtlich Standardisierung und geeigneter Bauweisen. Gemeint sind damit bspw. Verbindungstechniken, die einerseits ein sicheres Funktionieren sicherstellen und zugleich ein wirtschaftliches Demontieren, Reparieren und Wiederaufarbeiten ermöglichen. [18] Der zentrale Motivator muss daher die Wirtschaftlichkeit sein. Hier liegt ein großer Ansatzpunkt bei der Forschung mit innovativen Prozessführungen und Produkten "die Wirtschaftlichkeit der Nachhaltigkeit zu entwickeln". Auch an Forschungsinstituten muss der Faktor Wirtschaftlichkeit als Ziel gelten. [5] Die Anwendung der Wertstrommethode zum Aufdecken von Optimierungspotentialen und Entwicklungs-/ Forschungsbedarfen kann dazu beitragen. Die Methode ist zu einem CO₂-Wertstrombetrachtungsinstrument weiterzuentwickeln, um alternative Verfahren und Ansätze vergleichen zu können. [4]

2.3.1 FuE-Bedarfe zum Batteriesystem

Rund um die Batterie gibt es immer noch offene Fragen- bzw. Aufgabenstellungen. Ein Grund mag in der für Außenstehende, bspw. die Entsorger, geringen Verfügbarkeit von ausgedienten Batterien und damit verbundenen verlässlichen Datenquellen liegen. Bei den regionalen Entsorgern treffen bisher nur wenige Anfragen ein und wenn, dann i.d.R. aus dem Havariebereich. Dadurch ist es wirtschaftlich nicht rentabel Prozesse zu entwickeln und so finden sich derzeit kaum bzw. keine etablierten Prozesse zum Umgang mit Altbatterien. Ein gängiges Prozedere ist, dass die Batterie von einem verunfallten Fahrzeug mit einem Abschlepper von der Straße entfernt und oftmals direkt zur Schmelze transportiert

wird, da es bisher auch keine bzw. nur sehr wenige dafür spezialisierte und genehmigte Lagerplätze gibt. [11]

Die TU Berlin könnte hier als Reallabor dienen. Hier wird derzeit eine Pilotlinie einer Batteriezellfertigung aufgebaut⁴⁰, einige Prüfstände sind bereits vorhanden, weitere befinden sich in der Ausschreibung, wie bspw. ein Anlagenprüfstand. [5] Darüber hinaus bietet die TU Berlin ein breites Kompetenzangebot auf dem Gebiet der Kreislaufwirtschaft Batterie mit den Einzelkompetenzen an, von den Materialwissenschaften (insbesondere keramischer Werkstoffe), über das Vor- und Auffunktionieren der Schichten, analytische Kompetenz bis zum Aufbau einer Pilotlinie für eine Batteriezellfertigung. Nach der Batterienutzung kommen die Kompetenzen in der Batteriediagnose und Re-Montage dazu, die durch die TU-Berlin beigebracht werden können. [2] Diese Kompetenzen lassen sich weiter ergänzen durch die Automatisierungstechnik an der TH-Wildau und die Anlagen- und Prozesstechnik sowie Physikalische Chemie an der BTU Cottbus-Senftenberg.

Das Funktionale Recycling oder Direktrecycling stellt eine besonders effiziente Recyclingform dar. Hierbei wird das aktive Kathodenmaterial möglichst frei von den Fremdstoffen aufgenommen und mechanisch aufbereitet direkt als Kathodenmaterial wiederverwendet. Voraussetzung sind möglichst minimal-invasive Demontage- und Trennverfahren, die den Eintrag von Fremdstoffen, insbesondere Aluminium und Kupfer vermeiden. Im Labormaßstab konnte die Machbarkeit bereits nachgewiesen werden. Für weitere Stufen der Industrialisierung steht jedoch noch ein umfassender Forschungs- und Entwicklungsbedarf an.

2.3.2 FuE-Bedarfe zum Elektromotor

Ein gegenwärtiges Problem der Prozessentwicklung des Remanufacturing von Elektromotoren stellt die Tatsache dar, dass es noch zu wenig Motoren im End-of-Life-Zustand gibt. „Simulierte Alterungen“ bergen die Gefahr, dass wesentliche Produkteigenschaften (z.B. Verschmutzungen und Deformationen in den Demontageprozessen) nicht berücksichtigt und dementsprechend keine Praxislösungen entwickelt werden. Diese Fälle würden später zu Anlagenstillständen führen. Elektromotoren sind nahezu verschleißfrei, daher wird wenig Recycling anfallen, nur zum definitiven Ende der Nutzung. Eher werden Reuse, evtl. ein wenig Remanufacturing z.B. als Lageraufbereitung [5] relevant werden. In Bezug auf das Recycling von Elektromotoren besteht Entwicklungs- und Erprobungsbedarf eines Neodym Recyclingverfahrens. [17]

⁴⁰ <https://www.tu.berlin/en/eet/research/research-profile/battery-systems>

2.3.3 FuE-Bedarfe zum Hochvoltbordnetz

Für die Material-Rückgewinnung der werthaltigen Elemente im Hochvoltbordnetz, bspw. Kupfer, besteht Bedarf an automatisierten Demontageprozessen sowie automatisierten Klassifizierungs-/ Sortieranlagen für die Einordnung von Altteilen. An der TU Berlin gibt es das Projekt „EIBA - Sensorische Erfassung, automatisierte Identifikation und Bewertung von Altteilen“⁴¹, welches als Ausgangspunkt verwendet werden könnte. [5]

2.4 Abgeleitete Qualifizierungsbedarfe

Insbesondere Fachkräfte in den Bereichen Automatisierungstechnik, Prozessleittechnik und Digitalisierung erfahren eine starke Nachfrage an Facharbeitern und Ingenieuren. Diese Qualifizierungsbedarfe betreffen sowohl die Entwicklung neuer Fachkräfte als auch die Weiterbildung bestehender Mitarbeiter, insbesondere in Bereichen wie Automatisierung, Digitalisierung und Prozesssteuerung.

1. *Fachkräftebedarf in Automatisierungstechnik und Prozessleittechnik*

Automatisierungstechnik und Prozessleittechnik stehen im Mittelpunkt der Anforderungen für die Entwicklung und den Betrieb von halb- und vollautomatisierten Demontageprozessen. Dies betrifft sowohl die Batteriesysteme als auch die Hochvoltelektronik, wo automatisierte Prozesse für Demontage, Reinigung und Inspektion optimiert werden müssen. Der Bedarf an Ingenieuren und Facharbeitern mit spezifischem Prozessverständnis für den Shopfloor (nicht nur modellierte, digitale Prozesse) ist hoch. Qualifizierungsmaßnahmen sollten vor allem darauf abzielen, praktische Erfahrungen in realen industriellen Umgebungen zu vermitteln und Fachkräfte auf die komplexen Anforderungen der Produktionsanlagen vorzubereiten. [11]

2. *Aus- und Weiterbildung in Recyclingprozessen und Kreislaufwirtschaft*

Schließlich erfordern die spezifischen Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft in Bezug auf Batteriesysteme und Elektromotoren fundierte Schulungen in Recyclingtechnologien, Demontageverfahren und der Wiederverwertung von Rohstoffen. Fachkräfte müssen verstehen, wie diese Prozesse in Einklang mit Nachhaltigkeitszielen gebracht und effizient gestaltet werden können.

3. *Anpassung und Schaffung neuer Ausbildungsinhalte*

Um die Anforderungen der Batteriewirtschaft, der E-Mobilität und der

⁴¹ <https://www.tu.berlin/hamster/forschung/projekte/eiba-sensorische-erfassung-automatisierte-identifikation-und-bewertung-von-altteilen/>, abgerufen am 22.10.2024

Kreislaufwirtschaft zu erfüllen, müssen Studiengänge und Ausbildungsberufe neu geschaffen oder angepasst werden. Dazu gehören spezialisierte Programme in den Bereichen:

- **Batterieproduktion und -wartung:** Technische Kenntnisse über den Aufbau, Betrieb und Service von Produktionsanlagen und Recyclingprozessen für Batteriesysteme sind erforderlich.
- **Steuerungstechnik und Mechatronik:** Das Verständnis von Automatisierungstechnologien und die Fähigkeit, Produktionsanlagen zu betreiben und zu warten, sind unerlässlich.
- **Instandhaltung und Elektronik:** Die Qualifizierung von Fachkräften in der Wartung und Reparatur von Elektromotoren, Hochvoltelektronik und Batteriesystemen ist entscheidend, um die Langlebigkeit der Komponenten zu gewährleisten und die Effizienz des Recyclingprozesses zu steigern.
- Der Bereich **Datenverarbeitung/Digitalisierung und Softwareentwicklung** spielt eine zentrale Rolle, da die Steuerung moderner Recyclinganlagen und Demontageprozesse zunehmend digitalisiert wird. Dies erfordert fundierte Kenntnisse in der Softwareentwicklung und Datenintegration.

4. **Weiterbildung bestehender Mitarbeiter und Unternehmen**

Neben der Ausbildung neuer Fachkräfte ist es ebenso wichtig, bestehende Mitarbeiter in Unternehmen, die in den Bereich der Kreislaufwirtschaft für Elektromobilität eintreten, durch gezielte Weiterbildungsprogramme auf den Stand der Technik zu bringen. Dies betrifft nicht nur technologische Fähigkeiten, sondern auch die Transformation von Arbeitsabläufen und den Einsatz neuer Produktions- und Recyclingtechnologien.

Die Transformation der bestehenden Arbeitskräfte muss ebenfalls das Verständnis für Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft fördern, um sie auf die neuen Anforderungen der Branche vorzubereiten. [9]

5. **Nutzen der Potentiale der bestehenden Industrie**

Es gibt in der Region bereits eine ausgeprägte Industriebasis, die aus anderen Sektoren kommt, wie z. B. der Automobilindustrie oder der Produktion von Elektrogroßgeräten. Diese Industrien verfügen über Wissen in Bereichen wie Mechatronik, Elektronik und Produktionsautomatisierung, das für die Batteriewirtschaft und die Elektromobilität genutzt werden kann. [3]

Durch Umschulungen und Weiterbildungsprogramme können diese Fachkräfte in neue Rollen integriert werden, die sich auf die Produktion und Wiederverwertung von Komponenten der Elektromobilität konzentrieren.

6. Digitalisierung und Mindset-Änderung

Die Digitalisierungstransformation wird als langfristiger Prozess betrachtet, der nicht nur technologische Fähigkeiten, sondern auch eine Veränderung des Mindsets erfordert. In der Kreislaufwirtschaft ist es entscheidend, dass Fachkräfte lernen, in vernetzten Systemen zu denken, um Daten entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu nutzen. [3] Dies betrifft insbesondere die Vernetzung von Anlagen, die Datenanalyse und die Integration von Prozessleittechnologien.

Studiengänge und Berufsausbildungen sollten auch auf die Digitalisierung fokussiert werden, wobei es notwendig ist, interdisziplinäre Fähigkeiten zu fördern, die das Verständnis von Automatisierung, Mechatronik und Digitalisierung kombinieren.

7. Kompetenzmonitoring und Kooperationsprojekte

Um den künftigen Qualifikationsbedarf systematisch zu erfassen, ist ein Kompetenzmonitoring notwendig. Ein Beispiel hierfür ist das Kooperationsprojekt KOM-BiH, das seit Dezember 2022 besteht und auf den Aufbau von Kompetenzen in der Batteriezellfertigung abzielt. Dessen Ziel ist die Schaffung und Vermittlung notwendiger Kompetenzen für wertschöpfende Prozesse der Batteriezellfertigung in der Hauptstadtregion. Beteiligte Projektpartner sind das Berufsfortbildungswerk (bfw), der Bildungs- und Innovationscampus Handwerk der Handwerkskammer Potsdam, die BTU Cottbus-Senftenberg, die TU Berlin (Battery Circuit), der Cluster Energietechnik und der Cluster Verkehr, Mobilität und Logistik. Die Koordination übernimmt das Institut für Betriebliche Bildungsforschung (IBBF).

Solche Projekte sind entscheidend, um die nötigen Fachkräfte für die wertschöpfenden Prozesse zu identifizieren und darauf abgestimmte Qualifizierungsangebote zu entwickeln.

Der Übergang zu einer umfassenden Kreislaufwirtschaft erfordert nicht nur technologische Innovationen, sondern auch eine gezielte Anpassung der Ausbildungsprogramme und eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Unternehmen, Bildungsinstitutionen und politischen Akteuren.

2.5 Verdichtung der Aussagen in Form einer SWOT-Analyse

Stärken	Schwächen
– Mehrere automotiv OEM in der Region ansässig (Tesla, Daimler-Benz Marienfelde, Daimler-Benz Ludwigsfelde, BMW-Motorrad, Volkswagen Cariad)	– Zurückgehender Anteil an Industrieunternehmen in der Hauptstadtregion (kontinuierlich seit Anfang der 90-er Jahre)

<ul style="list-style-type: none"> – Breites Spektrum sich ergänzender Kompetenzen der Wertschöpfungskette der Straßen- und Schienenfahrzeugindustrie: OEM, Zulieferer, Engineering-Unternehmen, Ausrüster und Wissenschaft – Bereits gut vernetzte Region, eine aktive, über die Region sichtbare Fachinitiative, böte die Perspektive, die Region attraktiv für weitere Unternehmensansiedlungen zu gestalten – Breites Angebot von FuE-Kompetenzen in der Region (universitäre und außer-universitäre Forschungseinrichtungen, z.B. Fraunhofer, Helmholtz, BAM) – Gute geographische Lage und logistische Anbindung (Nord-Süd-/West-Ost-Korridore) – Berlin und zunehmend auch Brandenburg mit ausgeprägter Startup-Szene und -angeboten – Pluralistische Gesellschaft mit ausdifferenzierten Lebenseinstellungen – Ausgeprägte Kunst,- Kultur- und Medienszene in der Hauptstadtregion, vielfältige Möglichkeiten zur Interdisziplinarität – Ausdifferenziertes und vielfältiges Mobilitätsangebot in Berlin – Berlin und Brandenburg ergänzen sich strukturell mit ihrer Komplementarität (Beispiel: Brandenburg hat ein Überangebot an erneuerbarem Strom – Berlin ist ein potenter Abnehmer)⁴² – Gute Zusammenarbeit der engagierten privatwirtschaftlichen und öffentlichen Akteure, Clusterbildung und Vernetzung, z.B. im Rahmen der Initiative „Reallabore in Berlin“ 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Energiepreise im internationalen Vergleich – Strenge Auflagen für Industriebetriebe, speziell mit Aufgaben der Abfall- und Recyclingwirtschaft in Berlin, vielgestaltiger und intransparenter Regulierungsrahmen⁴³ – Fachkräftemangel, zu wenig Azubis für Industriebetriebe (Problematik: Mehr-Schichtbetrieb, körperlich belastende Arbeit, Schmutzexposition etc.) – Mangelndes Interesse junger Menschen an wertschöpfender Tätigkeit in Industrie, Handwerk; signifikanter Studierendenzurückgang – Digitalisierung in öffentlichen Einrichtungen noch am Anfang
---	---

Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> – Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft haben einen hohen Stellenwert bei der 	<ul style="list-style-type: none"> – Rückgang zur Verfügung stehender FuEul-Fördermittel für Aufgaben der Transformation; Förderung und

⁴² Kreislaufwirtschaft ist Grundlage für die Recyclingunternehmen, ganz vorne steht die Wiederverwendung, Thema Elektromobilität bietet Potential, ganzes Potential der Energiewende noch gar nicht erkannt, in Berlin-Brandenburg wird 5x mehr EE erzeugt, als verbraucht wird [18]

⁴³ Aussage im Interview 12

<p>jüngeren Generation (< 30 Jahre) und sind politische Themen</p> <ul style="list-style-type: none"> – Transformations-Aktivitäten der Mobilität werden in der Hauptstadtregion unmittelbar von der Politik wahrgenommen – Steigende Nachfrage nach nachhaltigen Produkten, positive Emotionalisierung – Unternehmensstruktur: Es gibt viele Unternehmen, die sich mit den Themen beschäftigen, jedoch nur sehr wenige, die dies exklusiv tun.⁴⁴ Somit zeigen sich exzellente Chancen für sich auf Teilprozesse spezialisierende Unternehmen. – ReTraNetz als Forum zum Austausch innovativer Ansätze zu zentralen Transformationsaufgaben – Sozialpartnerschaft im ReTraNetz-Verband ermöglicht die Betrachtung der Aufgabenstellungen von unterschiedlichen Seiten und führt zu konzertiertem Agieren – Innovationsideen werden durch die Beteiligten zunehmend in öffentlichen Diskussionsrunden, wie z.B. in den ReTraNetz-Veranstaltungen, artikuliert – Mit steigenden Kapazitäten in der Zellfertigung eröffneten sich größere Chancenräume in den nachgeordneten Wertschöpfungsstufen, von der Modul- und Packproduktion bis hin zu Re-Use, Repair und Recycling → Skalierungs- und Größenvorteile – Neue technologische Lösungen der Sensorik und Messdatenauswertung, auch KI – Bereitstellung ausreichender Breitbandversorgung und zeitkritischer Rechenleistung auch für mobile Endgeräte und Anwendungen im ländlichen Raum – Nachfrageimpulse im Zusammenhang mit der weiteren Entwicklung des Flughafens BER und der Ansiedlung von Unternehmen und Bundeseinrichtungen mit Bezug zur Energiewirtschaft in der brandenburgischen Lausitz 	<p>Pilotprojekte laufen nicht an, Ungeduld steigt</p> <ul style="list-style-type: none"> – Nicht leistungsfähige Verwaltung hemmt Investitionen und Engagements (langwierige Genehmigungsprozesse, wechselnde Ansprechpartner) – Schlechter werdende Leistungsfähigkeit der Mobilitäts- und Logistikangebote im Ballungsraum – Immer noch nicht ausreichende Breitbandverfügbarkeit in einigen Regionen Brandenburgs – Sicherstellung des betriebsinternen Wissens hinsichtlich Prozesse und betriebsnotwendiger Interna angesichts des stattfindenden Ausscheidens der Baby-Boomer-Generation als Wissens- und Erfahrungsträger – Verschärfung des Fach- und Führungskräftemangels, Verfügbarkeit von Fachkräften mit Prozess- und Fachqualifikation für die Gestaltung und Umsetzung der neuen Produkte und Prozesse – Noch nicht sichtbare Zukunftsperspektiven der notwendigen Transformationen in der Energiewirtschaft und Mobilität für die Bevölkerung und Unternehmen – Geringe Investitionsbereitschaft sowie einhergehend Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Wirtschaft – Fokus Batteriewiederverwertung: unterschiedliche Abnutzungsdauer, unterschiedliche Zellchemien, unterschiedliche Batterie-Bauweisen, kein standardisiertes Testverfahren für 2nd-Life-Batterien – Rohstoffe des Batteriematerials sind Metalle und Seltene Erden, die an den Weltmärkten gehandelt werden. Starke Preisschwankungen für einzelne Batteriematerialien erschweren die Kalkulation und Planbarkeit
---	---

⁴⁴ Vgl. Heimes, 2024.

3 Empfehlungen/ Anregungen für Entwicklungsprojekte

In diesem Kapitel:

- *Welche Förderprogramme kommen für die Entwicklung von Geschäftsmodellen der Kreislaufwirtschaft in Frage?*
- *Wer bietet sich als Wissenschaftspartner in der Region an?*
- *Welche Ideen wurden in den partizipativen Formaten der Untersuchung geäußert?*

3.1 Überblick geeigneter infrage kommender Förderprogramme

Das Regierungsprogramm Elektromobilität baut auf dem "Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität" auf und verfolgt das Ziel, die Forschung und Entwicklung sowie die Marktvorbereitung und -einführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland weiter voranzubringen. Die verschiedenen Förderbereiche sind auf vier Bundesministerien aufgeteilt.⁴⁵

Förderschwerpunkte des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK):

- Informations- und Kommunikationstechnik für Elektromobilität
- fahrzeugtaugliche Batteriesysteme (marktnahe Entwicklung) und entsprechende Fertigungstechnologien
- Stromwirtschaftliche Schlüsselemente der Elektromobilität: Speicher, Netze, Integration
- Technologien für die Antriebssysteme von Elektro- und Hybridfahrzeugen
- sicherer und effizienter Fahrzeugbetrieb
- Ladeinfrastruktur (gemeinsam mit BMDV)
- Abrechnungssysteme
- Nutzerakzeptanz (gemeinsam mit BMDV)

Förderschwerpunkte des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV):

- Sicherheit von Batterien aus Serienfertigung
- Demonstration und Erprobung innovativer Mobilitätssysteme
- Ladeinfrastruktur (gemeinsam mit BMWK)
- Sicherheit und Effizienz von Fahrzeugflotten

⁴⁵ https://www.foerderinfo.bund.de/foerderinfo/de/foerderung/bund/mobilitaet/elektromobilitaet/elektromobilitaet_node.html

- Hybridisierung von LKW, Effizienzsteigerung Nebenaggregate
- Verkehrssicherheit
- Nutzerakzeptanz (gemeinsam mit BMWK)

Förderschwerpunkte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF):

- Zell- und Batterieentwicklung (Batteriekonzepte und-management)
- Forschung und Entwicklung zu neuartigen Materialien
- Produktionsforschung für zukünftige Batteriegenerationen
- ausfallsichere Komponenten und Systeme
- Systemforschung Elektromobilität
- Informations- und Kommunikationstechnik für Energieeffizienz im Elektrofahrzeug
- Aus- und Weiterbildung

Förderschwerpunkte des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV):

- Demonstration und Erprobung zur Ermittlung der Umwelt- und Klimafaktoren der Elektromobilität
- Kopplung der Elektromobilität an erneuerbare Energien und deren Netzintegration
- Umwelt- und klimabezogene Konzepte
- Markteinführung mit ökologischen Standards
- Forschung und Entwicklung zu Recyclingverfahren, Öko- und Energiebilanzen der Komponenten

Nachfolgend wird eine Übersicht über aktuelle Förderprogramme bereitgestellt, jedoch ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Es ist zu beachten, dass aufgrund der angespannten Haushaltslage und des verhängten Förderstopps in einigen Programmen derzeit keine Anträge bearbeitet oder bewilligt werden. Bei konkreten Anliegen muss dies daher individuell geprüft werden.

Förderprogramm	Ministerium	Laufzeit	Exemplarische Themenschwerpunkte
Forschung und Entwicklung an Batterietechnologien für technologisch souveräne, wettbewerbsfähige und nachhaltige	BMBF	29.8.2023 bis 31.3.2026	<ul style="list-style-type: none"> • Nachhaltigkeit von und die Versorgungssicherheit mit Batterien & Batterietechnologien unter Berücksichtigung von Aspekten wie Umweltbilanz, Rezyklierbarkeit, Rohstoffverfügbarkeit für Elektromobilität, aber auch Medizintechnik,

Batteriewertschöpfungsketten ⁴⁶				industrielle Anwendungen oder Power tools
				<ul style="list-style-type: none"> • Vernetzung aller Stakeholder und Sicherung der Fachkräftebasis • Energiespeicherung in stationären Anwendungen
Förderrichtlinie Elektromobilität ⁴⁷	BMDV	6.7.2023 bis 31.12.2026		<ul style="list-style-type: none"> • Kommunale und gewerbliche Elektromobilitätskonzepte • Flottenprogramm Elektrofahrzeuge und Infrastruktur • Forschung und Entwicklung zur Unterstützung des Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen und innovative Konzepte für klimafreundliche Mobilität
Erneuerbar mobil ⁴⁸ - Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität	BMWK	bis 31.12.2025		<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung der Markteinführung mit ökologischen Standards • Ressourcenverfügbarkeit und Recycling • Stärkung der Wertschöpfungsketten der Elektromobilität im Bereich Produktion
8. Energieforschungsprogramm ⁴⁹	BMWK	25.4.2024 bis 30.6.2027		<ul style="list-style-type: none"> • Mission Energiesystem 2045 • Mission Stromwende 2045 • Mission Wasserstoff 2030
Horizon Europe, Säule 2, Cluster „Klima, Energie und Mobilität“	EU	2021 bis 2027		Spezifische Calls

3.2 Wissenschaftspartner der Region

Regionale FuE-Potentiale: Bekannt ist auch die Forschungsstärke der Region. Laut der von der Wirtschaftsförderung Land Brandenburg beauftragten und von i-vector 2023 und 2024 erstellten „Batteriestudien“ erforschen im erweiterten Untersuchungsraum mindestens 29 Forschungseinrichtungen einzelne technologische, physikalisch-chemische oder digitale Aspekte und Herausforderungen innerhalb des Batteriewertschöpfungs-systems (Stand Januar 2024).

Davon befinden sich mindestens sechs in Berlin (u.a. DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte, Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung, Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie HZB, TU Berlin „Battery Circuit“, u.a. mit Fachgebieten Elektrische

⁴⁶ <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2023/09/2023-09-21-Bekanntmachung-Batterieforschung.html>

⁴⁷ <file:///C:/Users/Angela%20Blume/Downloads/BAanz%20AT%2026.07.2023%20B2-1.pdf>

⁴⁸ <https://www.erneuerbar-mobil.de/foerderprogramme/das-foerderprogramm-erneuerbar-mobil>

⁴⁹ https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/20240531-energieforschung-im-rahmen-des-8-energieforschungsprogramms.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Energiespeichertechnik EET und Handhabungs- und Montagetechnik) und neun in Brandenburg (u.a. Energie-Innovationszentrum EIZ, Center for Hybrid Electric Systems Cottbus CHESCO, Max-Planck-Institut Kolloid- und Grenzflächenforschung, Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP). In Halle (Saale) erforscht das ITEL – Deutsches Lithiuminstitut GmbH Verarbeitungs- und Recyclingmethoden von Lithium.

Diese Batterie-spezifischen Kompetenzen lassen sich ergänzen für die Belange der Elektromotoren und Hochvoltbordnetze durch die Hochschulen in der Region

- Hochschule für Technik, Berlin
- Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
- Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde
- Humboldt-Universität zu Berlin
- Technische Hochschule Brandenburg
- Technische Hochschule Wildau
- Technische Universität Berlin
- Universität Potsdam

Als außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit Bezug zum Untersuchungsgegenstand lassen sich nennen:

- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
- Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung (IAP)
- Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft
- Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
- Institut für Dünnschichttechnologie und Mikrosensorik e.V. (IDM)
- Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung

Diese Batterie-spezifischen Kompetenzen lassen sich ergänzen für die Belange der Elektromotoren und Hochvoltbordnetze durch die Hochschulen in der Region

- Hochschule für Technik, Berlin
- Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
- Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde
- Humboldt-Universität zu Berlin
- Technische Hochschule Brandenburg
- Technische Hochschule Wildau
- Technische Universität Berlin
- Universität Potsdam

Forschungs- und Entwicklungsakteure im Wertschöpfungssystem Batterie

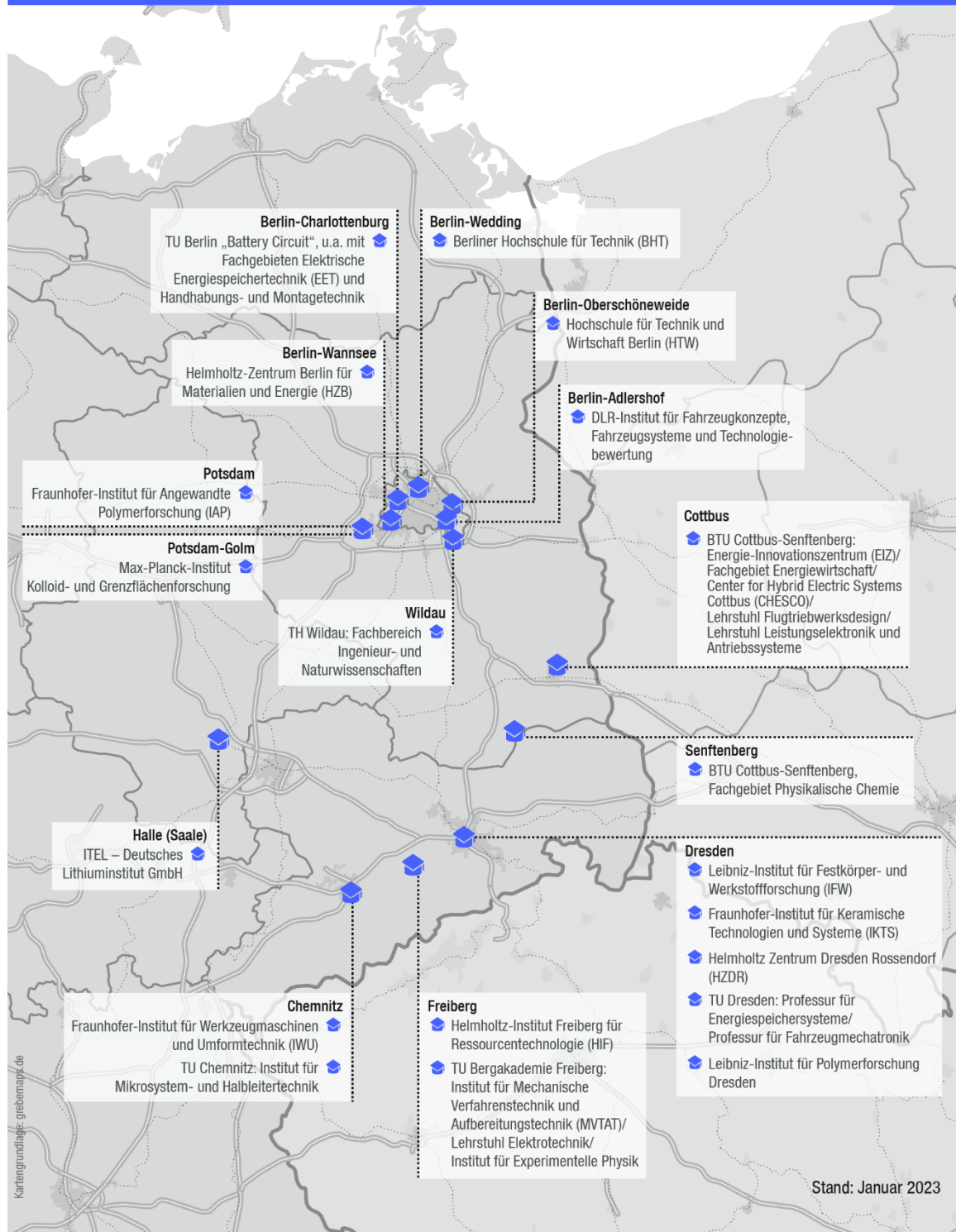


Abbildung 8: Forschungs- und Entwicklungsakteure im Wertschöpfungssystem Batterie, Quelle i-vector im Auftrag der WFBB 2023

Als außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit Bezug zum Untersuchungsgegenstand lassen sich nennen:

- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
- Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung (IAP)
- Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft
- Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
- Institut für Dünnschichttechnologie und Mikrosensorik e.V. (IDM)
- Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung

Diese Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Hervorzuheben sind als geeignete Partner in den Aufgabenstellungen der Kreislaufwirtschaft nicht zuletzt die Partner-Organisationen des ReTraNetz-BB-Verbundes, das

- Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen IPK und
- Technische Universität Berlin mit dem Fachbereich Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik iwf.

Beide betreiben gemeinsam die Versuchslabore und die Maschinenhalle im Produktionstechnischen Zentrum in Berlin.

Auch die bbw Akademie für betriebliche Weiterbildung wie auch das bfw Berufsbildungswerk können neben ihren Aus- und Weiterbildungsaufgaben als Forschungspartner zu Aufgabenstellungen der Transformation wirksam beitragen.

3.3 Projektsteckbriefe

Aus den vorangegangenen Ausführungen wurden verschiedene Projektansätze im Rahmen der Gespräche und Workshop-Formate entwickelt. Diese werden zu drei Themenbereichen zusammengefasst:

- 2nd-Use von Gebrauchtbatterie für Batteriespeicher
- Design for Recycling
- Zukunftsmobilität und Gesellschaft – Chancen, Wandel und Innovation

Die Steckbriefe sind im Anhang beigelegt und derzeit noch nicht zur Veröffentlichung bestimmt.

4 Anhang

4.1 Quellen- und Literaturverzeichnis

BMUV (2024): Die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS). Grundlagen für einen Prozess zur Transformation hin zu einer zirkulären Wirtschaft. Berlin.

BMW Group (2020): Die Windräder im BMW Group Werk Leipzig werden in der Adventszeit zu Windkerzen. [Die Windräder im BMW Group Werk Leipzig werden in der Adventszeit zu Windkerzen.](#)

Bünting, Aiko et al. (2024): Kooperationen als Schlüssel zum Erfolg? Der Maschinen- und Anlagenbau: Strategischer Baustein des europäischen Batterieökosystem. Hrsg.: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin.

Erdmann, M. (2021): Seltene Erden. Informationen zur Nachhaltigkeit. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/seltene_erden.pdf;jsessionid=62888616968FA62C25067A6529C32049.2_cid331?_blob=publicationFile&v (6.3.2024)

Fachverband Schrott, E-Schrott und Kfz-Recycling (2023): Factsheet Metallrecycling. Bonn.

Heimes, Heiner H./ (2024): Battery Atlas 2024. Shaping the European Lithium-Ion-Battery Industry. 2nd edition. Aachen: RWTH.

Heimes, Heiner H./ Kampker, Achim/ Wennemar, Sarah et al. (2023): Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Batteriezelle. Aachen: RWTH, PEM/ Frankfurt am Main: VDMA.

Heimes, Heiner H./ Kampker, Achim/ Offermanns, Christian/ Kreisköther, Kim Diana (2021): Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. Aachen: RWTH, PEM/ Frankfurt am Main: VDMA; Braunschweig: Battery LabFactory.

Holdinghausen, H. (2023): Der große Run auf Rohstoffe. Heinrich-Böll-Stiftung, <https://www.boell.de/de/2023/10/03/der-grosse-run-auf-rohstoffe#7> (6.3.2024)

IEA (International Energy Agency) (2022): The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf> (6.3.2024)

LKAB (Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag) (2023): Europe's largest deposit of rare earth metals is located in the Kiruna area. <https://lkab.com/en/press/europes-largest-deposit-of-rare-earth-metals-is-located-in-the-kiruna-area/> (6.3.2024)

Meißner, Lia/ Czerniak-Wilmes, Julia, Kind, Sonja (2024): Seltene Erden – Rohstoffsicherung und Potentiale der Gewinnung in Europa. In: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag TAB (Hrsg.): Themenkurzprofil Nr. 69, Februar 2024.

o. A. (2023): Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2024.

Stiftung Familienunternehmen (Hrsg.) (2021): Circular Economy in Familienunternehmen Herausforderungen, Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen. München/ Berlin.

Tagesschau.de [18.06.2024]: ACC-Werk Kaiserslautern – Baustopp für die Batteriefabrik der Superlative. Online abgerufen am 22.07.2024 unter [tagesschau.de/wirtschaft/technologie/batteriefabrik-kaiserslautern-100.html]

TransnetBW (2024): Projektvorstellung Netzbooster Pilotanlage Kupferzell. Stuttgart.

ZMT (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung GmbH) (2023): Eine Kreislaufwirtschaft für Seltene Erden: Wie kann das gelingen? <https://www.leibniz-zmt.de/de/neuigkeiten/nachrichten-aktuelles/archiv-news/eine-kreislaufwirtschaft-fuer-seltene-erden-wie-kann-das-gelingen.html> (6.3.2024)