

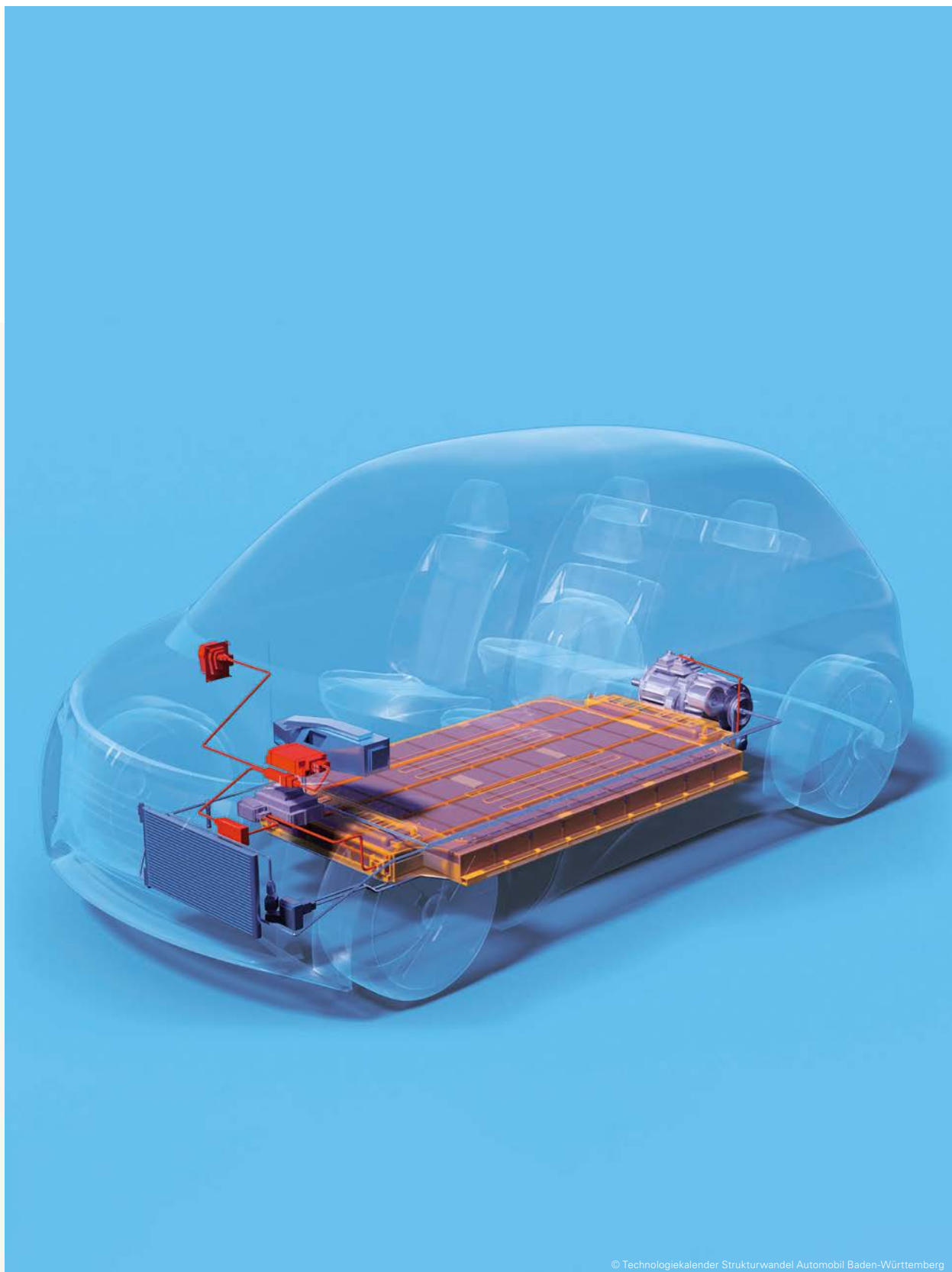
Themenpapier Cluster Elektromobilität Süd-West

Die Produktionskette „Batteriesystem“ und kritische Ressourcen



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Ausgangslage	5
Entwicklung des Batteriemarkts und Automotive-Anteil	6
Struktur der Batterieindustrie und Ausbau von Produktionskapazitäten	8
Produktionsprozesse und Wertschöpfungsstufen	12
Kritische Ressourcen und strategische Abhängigkeiten	14
Zuliefererbeziehungen der deutschen Automobilindustrie	18
Technologische Trends in der Zellentwicklung	20
Industriepolitische Ziele in der EU	22
Literaturverzeichnis	23
Abbildungsverzeichnis	26
Impressum	27



© Technologiekalender Strukturwandel Automobil Baden-Württemberg

Vorwort

Im aktuellen Transformationsprozess der Automobilindustrie ist der Wechsel zu elektrifizierten Antrieben ein entscheidender Erfolgsfaktor – und ein zentraler Hebel, um die gesetzten Klimaschutzziele im Verkehrssektor zu erreichen und dem Anspruch einer umweltfreundlichen Mobilität gerecht werden zu können. Elektrifizierte Antriebe haben dabei vielfältige Ausprägungsformen – von batterieelektrischen Systemen über Hybridkonzepte bis hin zu Brennstoffzellenanwendungen. Ihnen allen gemeinsam ist, dass der Batterie als zentralem Bauteil eine Schlüsselrolle zukommt. Batteriesysteme werden nicht nur in allen elektrischen Antrieben benötigt, sondern stellen auch einen erheblichen Anteil der Wertschöpfung dar.

Der Cluster Elektromobilität Süd-West hat den Anspruch, die gesamte Wertschöpfungskette neuer Mobilitätslösungen für seine Mitglieder und Partner abzubilden. Als einer der weltweit führenden Automobilcluster ist es für die baden-württembergischen Akteure notwendig, bei zentralen Komponenten der Elektromobilität wie der Batterie, dem Elektromotor oder der Leistungselektronik technologisches Wissen aufzubauen und signifikante Marktanteile wie bei der Verbrennungstechnologie zu sichern. Wie Elektromobilität erfolgreich industrialisiert werden kann und ob die dafür notwendigen Materialien in ausreichender Menge zur Verfügung stehen, sind intensiv diskutierte Fragestellungen und waren Gegenstand zahlreicher Forschungsprojekte und Studien.

Die Erfahrungen der letzten Jahre und insbesondere die Coronapandemie zeigen, wie schnell Krisen zu weltweiten Lieferengpässen in den globalen Wertschöpfungsnetzwerken führen können. Das vorliegende Themenpapier „Die Produktionskette ‚Batteriesystem‘ und kritische Ressourcen“ ist Teil der Studie „ReLike: Smarte Lieferketten und robuste Strategien für die Transformation“, die von der Landesagentur e-mobil BW in Auftrag gegeben wurde und im Sommer 2022 veröffentlicht

wird und stellt damit einen Vorabauszug der Studie dar. Das Themenpapier des Clusters Elektromobilität Süd-West fokussiert Wertschöpfungsstufen der Batterieherstellung. Zudem wird untersucht, ob strategische Abhängigkeiten für die Automobilindustrie bei kritischen Ressourcen bestehen, welche technologischen und wirtschaftlichen Entwicklungen im globalen Batteriemarkt zu erwarten sind und wie sich diese in den Kontext industriepolitischer Ziele setzen lassen.

Ausgangslage

Der Trend hin zu einer zunehmenden Marktdurchdringung von elektrifizierten Pkw in den globalen Automobilmärkten hält an. Er wird sich in den kommenden Jahren vor allem aufgrund verschärfter Flottengrenzwerte, sinkender Batteriepreise und durch Verbesserungen der Leistungseigenschaften bei Batteriezellen noch weiter beschleunigen. Szenarien, die mit den Klimazielen des Pariser Abkommens vereinbar sind, gehen bis zum Jahr 2030 von einem weltweiten Neuzulassungsanteil von 30 % bei E-Fahrzeugen aus, so dass ca. 8 bis 14 % der gesamten Pkw im Bestand zu diesem Zeitpunkt elektrifiziert wären. Davon werden je nach Marktentwicklung ca. 89 bis 166 Mio. rein batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) und 46 bis 71 Mio. Plug-in-Hybridfahrzeuge sein (IEA, 2020).

Der globale Bestand von E-Fahrzeugen (BEV und PHEV) nahm im Jahr 2020 um ca. 3 Mio. Fahrzeuge zu, so dass Ende 2020 weltweit ca. 10,8 Mio. E-Fahrzeuge zugelassen waren. Im Vergleich zum Vorjahr war dies eine Steigerung des Bestands um knapp 38 %, nach ebenfalls schon hohen Wachstumsraten in den beiden Vorjahren (+40 % 2019, +64 % 2018). Trotzdem ist im Vergleich mit konventionell betriebenen Fahrzeugen der Anteil elektrisch betriebener Fahrzeuge am Gesamtbestand nach wie vor gering und liegt bei nur 0,9 %. China hat insgesamt mit Abstand die meisten E-Fahrzeuge im Markt: 3,8 Mio. im Jahr 2019 und 5 Mio. im Jahr 2020. In Deutschland liegen die Bestandszahlen bei 0,24 Mio. (2019) und 0,57 Mio. (2020). In den USA nahmen die Bestandszahlen im Betrachtungszeitraum vergleichsweise wenig zu: 1,45 Mio. im Jahr 2019 und 1,77 Mio. im Jahr 2020.

In der EU lag die Zahl der Neuzulassungen bei ca. 1,45 Mio. E-Fahrzeugen, dies entspricht einem Marktanteil von ca. 11 % am Gesamtmarkt 2020. Deutschland lag (auch aufgrund der Innovationsprämie und der MwSt.-Senkung) mit 13,5 % leicht über dem EU-Durchschnitt. Auch Frankreich (11,2 %), v. a. aber

die Niederlande (24,6 %) und Norwegen (74,7 %) konnten überdurchschnittliche Wachstumsraten verzeichnen. Europa war 2020 damit insgesamt größter E-Auto-Markt, der Anteil an PHEV ist aber (z. B. im Vergleich mit China) relativ hoch.

Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion) stellen derzeit den Stand der Technik bei Energiespeichern für E-Fahrzeuge dar. Typische Batterien im Pkw-Segment enthalten Lithium (Li), Kobalt (Co) und Nickel (Ni) in der Kathode, Graphit in der Anode sowie Aluminium und Kupfer in weiteren Zell- und Packbauteilen. Die in Lithium-Ionen-Batterien verwendeten Kathoden können generell aus Lithium-Nickel-Kobalt-Mangan-Oxid (NCM), Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid (NCA) oder Lithium-Eisen-Phosphat (LFP) bestehen, wobei die Batterietechnologien kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert werden. Zudem sind in Zukunft gänzlich neue oder verbesserte Zellchemien, wie z. B. Lithium-Schwefel oder Lithium-Luft, zu erwarten.

Aufgrund des anhaltenden Markthochlaufs bei Elektrofahrzeugen steigt die weltweite Nachfrage nach Batterie-(Roh-)Materialien und Produktionskapazitäten für Batteriezellen an, so dass auch Versorgungsrisiken in den Lieferketten entstehen können. Insbesondere bei strategisch relevanten Materialien kann die Versorgungssicherheit bei deutschen und europäischen Automobilherstellern aufgrund geopolitischer Konzentrationen kritisch werden, beispielsweise im Zusammenhang mit dem Abbau von Kobalt- und Lithiumreserven. Die Produktionskapazitäten für Batterien werden voraussichtlich schneller wachsen als die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen, um so die steigende Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien auch in anderen Sektoren befriedigen und gleichzeitig Liefer- und Produktionsengpässe abfedern zu können (WEF, 2019). Weltweit sind bereits mehr als 90 sog. Gigafabriken in Planung, über die diese Bedarfe in Zukunft gedeckt werden sollen (Harrison, 2021).

Entwicklung des Batteriemarkts und Automotive-Anteil

Die weltweite Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batteriespeichern nahm in der vergangenen Dekade kontinuierlich um ca. 25 % pro Jahr zu und erreichte ein Gesamtvolumen von ca. 184 Gigawattstunden (GWh) im Jahr 2018 und 282 GWh im Jahr 2020. Dies entspricht einem Marktvolumen von ca. 36 Mrd. EUR. Die deutsche Batterieindustrie verzeichnete im Jahr 2020 mit 34 Unternehmen und ca. 10.870 Beschäftigten einen Umsatz i. H. v. ca. 4,7 Mrd. EUR, davon ca. 3,3 Mrd. EUR im Inland und 1,4 Mrd. EUR im Ausland (Statistisches Bundesamt, 2021). Das Importvolumen von Batteriezellen und -systemen erreichte einen Wert von ca. 7,3 Mrd. EUR (+33 % im Vergleich zu 2019), davon waren ca. 5,4 Mrd. EUR (ca. 74 %) Lithium-Ionen-Batterien. Mit einem Zuwachs von ca. 64 % wuchsen diese Importe überproportional stark an. China ist mit einem Importvolumen von ca. 1,6 Mrd. EUR wichtigster Handelspartner außerhalb Europas, gefolgt von Südkorea (0,9 Mrd. EUR) und Japan (0,3 Mrd. EUR) (ZVEI, 2020).

Für die kommenden Jahre wird mit stark zunehmenden Wachstumsraten gerechnet: auf ca. 970 GWh im Jahr 2025 (ca. 71 Mrd. EUR Marktvolumen) und auf 2.600 GWh im Jahr 2030. Bei optimistischer Entwicklung könnte sogar eine weltweite Nachfrage von über 3.500 GWh in diesem Jahr erreicht werden. Dieses Wachstum wird insbesondere durch Anwendungen im Automotive-Sektor (Pkw, Nfz) getrieben: 2020 betrug dessen Anteil an der weltweiten Nachfrage ca. 242 GWh (85 %), für das Jahr 2025 wird erwartet, dass dieser auf ca. 835 GWh (86 %) ansteigt, 2030 auf min. 1.746 GWh bis max. 3.389 GWh (86–95 %) (Bernhart, 2019; Fröndhoff und Witsch, 2021; WEF, 2019). Die Anteile der einzelnen Segmente am Gesamtumsatz des Batteriemarkts für 2020 und prognostiziert für die Jahre 2025 und 2030 sind in Abbildung 1 grafisch dargestellt – der starke Automotive-Fokus ist in der Steigerung der Produktionskapazitäten über die Jahre hinweg deutlich zu erkennen.

Diese Entwicklung wurde in den vergangenen Jahren insbesondere durch eine steigende chinesische Nachfrage getrieben, so dass China mittlerweile über alle Anwendungen hinweg der weltweit größte Absatzmarkt für Batterieanwendungen ist. Betrug der Anteil des chinesischen Markts an der globalen Nachfrage nach Batteriekapazität im Jahr 2020 noch ca. 142 GWh (ca. 50 % Anteil am Gesamtmarkt), so wird erwartet, dass dieser im absoluten Umfang auch in den kommenden Jahren weiter ansteigt: auf ca. 487 GWh (50 %) im Jahr 2025 und 1.122 GWh (43 %) im Jahr 2030.

Ebenfalls wird prognostiziert, dass der europäische Anteil an der weltweiten Nachfrage absolut und im Verhältnis zu den anderen Märkten über die Jahre zunimmt: von ca. 34 GWh im Jahr 2020 (12 %) auf ca. 170 GWh im Jahr 2025 (18 %) und ca. 443 GWh 2030 (17 %). Die USA besitzen einen Anteil an der Gesamtnachfrage i. H. v. ca. 62 GWh im Jahr 2020 (22 %) und prognostizierte 136 GWh für das Jahr 2025 (14 %) sowie 357 GWh für 2030 (14 %) (WEF, 2019). Auch in den übrigen Ländern nimmt die Batterienachfrage bis 2030 stark zu, sowohl absolut (+658 GWh) als auch relativ, auf 27 % Weltmarktanteil.

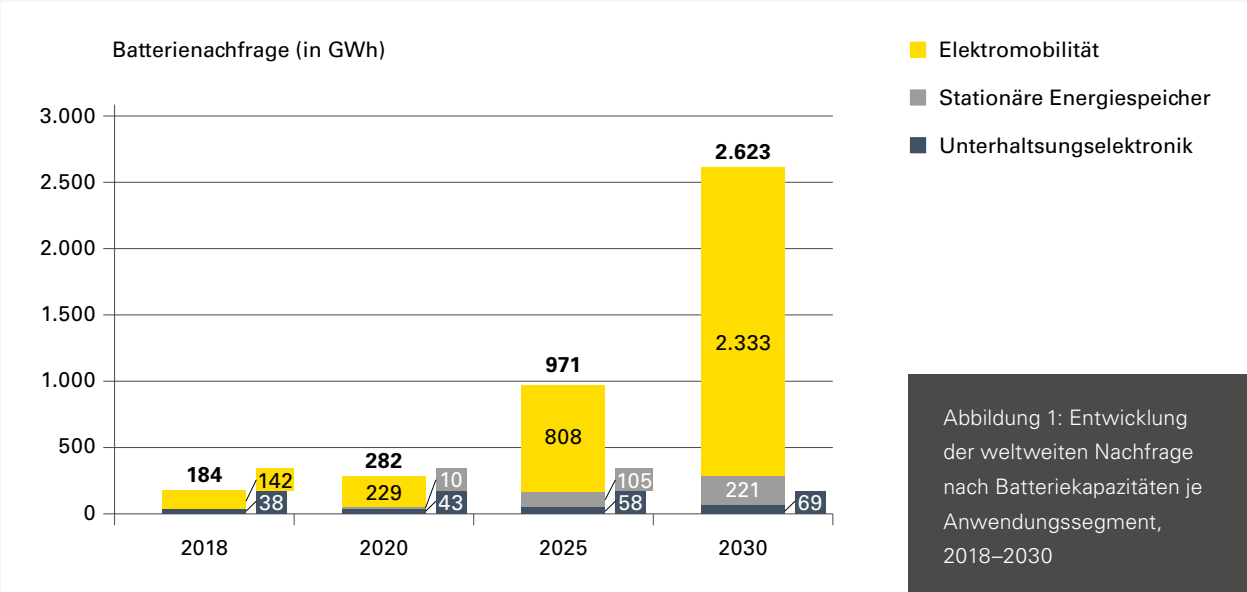


Abbildung 1: Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Batteriekapazitäten je Anwendungssegment, 2018–2030

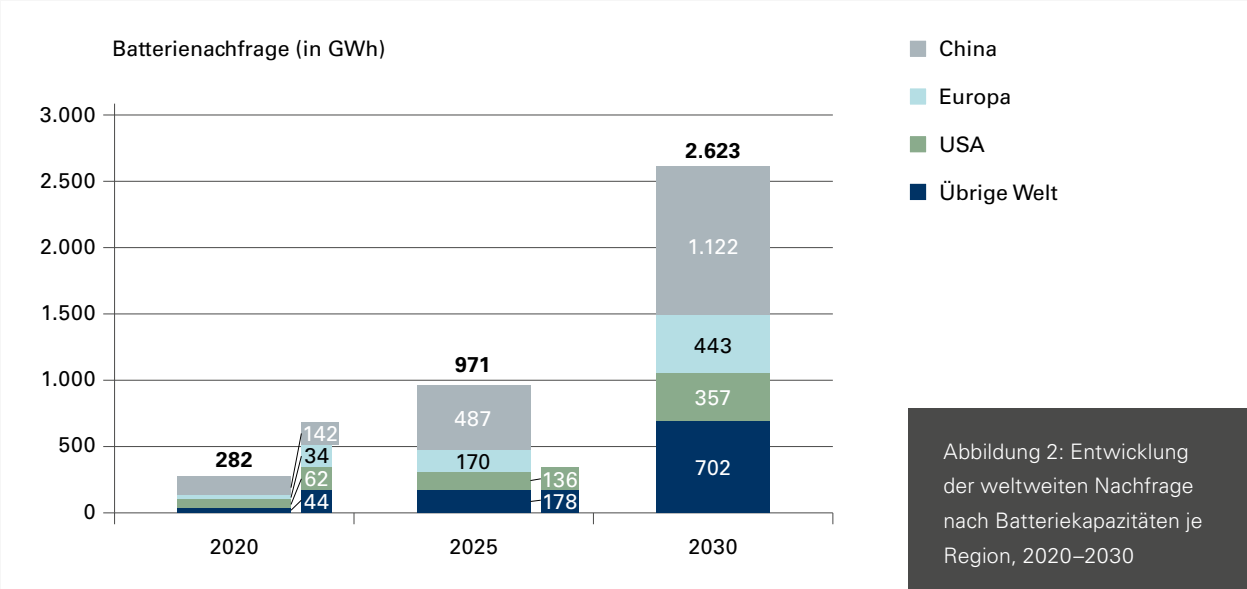


Abbildung 2: Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Batteriekapazitäten je Region, 2020–2030

Struktur der Batterieindustrie und Ausbau von Produktionskapazitäten

Entlang der steigenden Nachfrage werden auch die Pläne zum Aus- und Aufbau von Produktionskapazitäten für Batteriezellen weltweit ausgerichtet. So soll allein in Europa über Investitionen in neue Fertigungsstätten bis 2030 ein Volumen von (bei maximalem Ausbau der Standorte) insgesamt über 950 GWh gedeckt werden können, ca. 400 GWh davon in Deutschland (Battery-News, 2021). Derzeit existieren 14 Fabriken im europäischen Raum, ca. weitere 30 sind angekündigt. Zum Vergleich: In den USA produzieren derzeit neun Fabriken Batteriezellen und -systeme, weitere zwölf sind geplant. Im asiatischen Raum hingegen sind ca. 100 Produktionsstandorte verzeichnet, die bis 2030 um weitere ca. 55 ausgebaut werden sollen (Harrison, 2021).

Die größten Kapazitäten in Deutschland werden dabei die Standorte Grünheide (max. 200 GWh, Tesla), Erfurt (max. 100 GWh, CATL), Kaiserslautern (max. 64 GWh, Stellantis) und Salzgitter (max. 24 GWh, Northvolt/Volkswagen) besitzen. Geplante Standorte in Baden-Württemberg sind z. B. Willstätt (2,5 GWh, Leclanché/Eneris), Ellwangen (bis zu 2 GWh, Varta) und Reutlingen (bis zu 0,4 GWh, Customcells/Porsche). Die in Europa vorhandenen und geplanten Produktionsstandorte sind in Abbildung 3 zusammengefasst.

Batterieprojekte: Oktober 2021

EU: 62 GWh + x

	2026, Russland Bis zu 12 GWh
	202X, Europa Bis zu X GWh
	2026, Europa Bis zu 50 GWh
	202X, Europa Bis zu X GWh
	202X, Europa Bis zu X GWh


DE: 411,1 GWh

	2021, Brandenburg Bis zu 12 GWh		2021, Döbeln Bis zu 0,5 GWh
	2020, Willstätt Bis zu 2,5 GWh		2022, Bitterfeld Bis zu 16 GWh
	2024, Reutlingen >0,1 GWh		2024, Salzgitter Bis zu 24 GWh
	2023, Überherrn 24 GWh		2022, Erfurt Bis zu 100 GWh
	2022, Kaiserslautern Bis zu 24 GWh		202X, Grünheide Bis zu 200 GWh


GB: 75 GWh

	2023, Thurso Bis zu 5 GWh
	2012, Sunderland Bis zu 35 GWh
	2023, Blyth Bis zu 35 GWh


PL: 65 GWh

	2018, Wrocław Bis zu 65 GWh
---	--------------------------------

SK: 10 GWh

	2020, Bratislava 10 GWh
--	----------------------------


SE: 40 GWh

	2021, Skellefteå Bis zu 40 GWh
---	-----------------------------------

FR: 106 GWh

	2022, Dury Bis zu 24 GWh
	2023 Bis zu 50+ GWh
	2024, Douai Bis zu 24 GWh

ES: X GWh

	202X, Barcelona X GWh
---	--------------------------

IT: 70 GWh

	2024 Bis zu 70 GWh
---	-----------------------



CZ: 1,2 GWh + x

	2016 Bis zu 1,2 GWh
	202X X GWh

NW: 66 GWh + x

	2023, Mo i Rana Bis zu 34 GWh
	2024, Agder Bis zu 32 GWh
	202X X GWh

HU: 77,3 GWh

	2018, Göd Bis zu 30 GWh
	2020, Komarom und Ivasca Bis zu 47,3 GWh

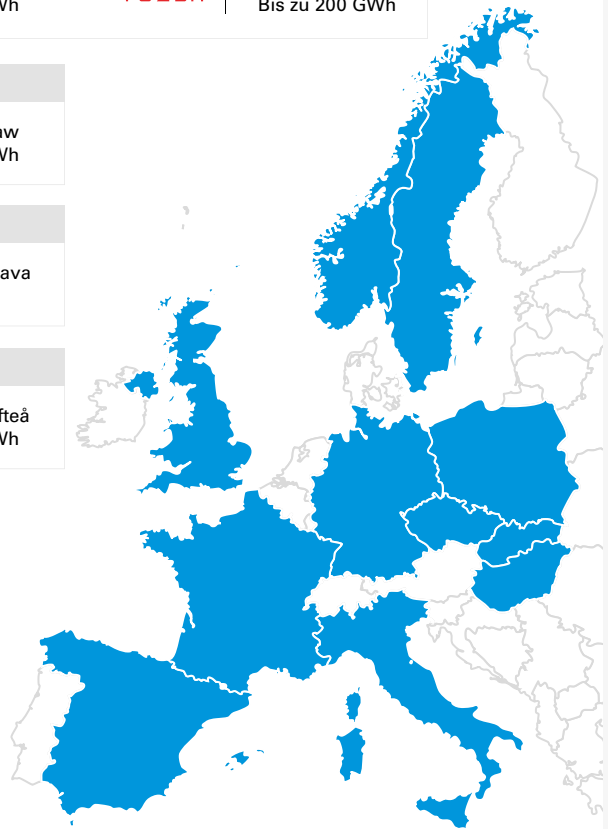
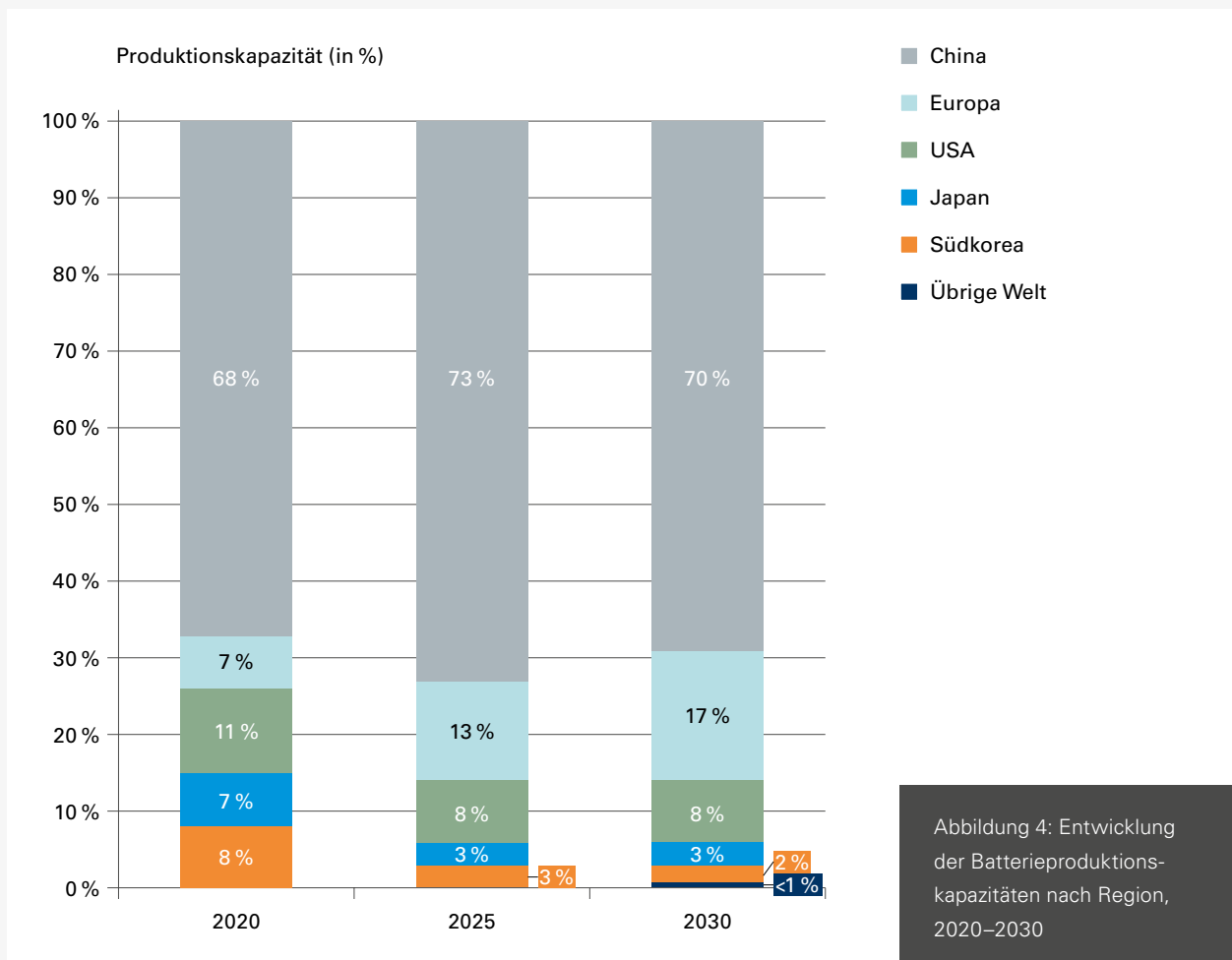


Abbildung 3: Übersicht über vorhandene und geplante Batterieproduktionsstandorte und -kapazitäten in Europa

Quelle: Battery-News, 2021



Derzeit liegt der Anteil der aus Europa stammenden Batterieproduktion an der weltweiten Kapazität für Automotive-Anwendungen bei ca. 7 %. Er soll über die nächsten zehn Jahre auf ca. 17 % ansteigen (VDE, 2021). Zu beachten ist dabei allerdings, dass dieser Zuwachs zu großen Teilen von asiatischen Unternehmen (z. B. LG Chem, CATL) getrieben wird, die in den Aufbau weiterer Fertigungsstätten in Europa investieren wollen. Der Anteil europäischer Batteriefirmen an der globalen Produktionskapazität liegt so derzeit bei nur 1 %, wobei erwartet wird, dass dieser innerhalb der nächsten zehn Jahre auf ca. 6 % ansteigt.

Den mit Abstand größten Anteil an der Batteriezellproduktion haben chinesische Unternehmen (51 %), dieser wird voraussichtlich in den nächsten zehn Jahren noch weiter steigen – auf dann ca. 59 %. Auch bei Betrachtung der regionalen Verteilung von Produktionsstätten ist das Land führend: Werden alle Produktionsstätten in China (auch von nicht chinesischen Unter-

nehmen) betrachtet, so ist derzeit ein Anteil von über 68 % der weltweiten Produktionskapazität in China verortet. Dieser soll bei wachsendem Markt innerhalb der nächsten zehn Jahre noch weiter ansteigen und einen Wert von dann sogar 70 % erreichen.

Für den gleichen Zeitraum wird prognostiziert, dass trotz des weiteren Ausbaus der Produktionskapazitäten in den Ländern die Anteile der US-amerikanischen Kapazitäten von derzeit 11 % auf nur noch 8 % sinken, die der japanischen von heute 7 % auf 3 %. Auch die südkoreanischen Anteile werden voraussichtlich zurückgehen: von 8 % auf nur noch 2 % (Roland Berger und fka, 2019).

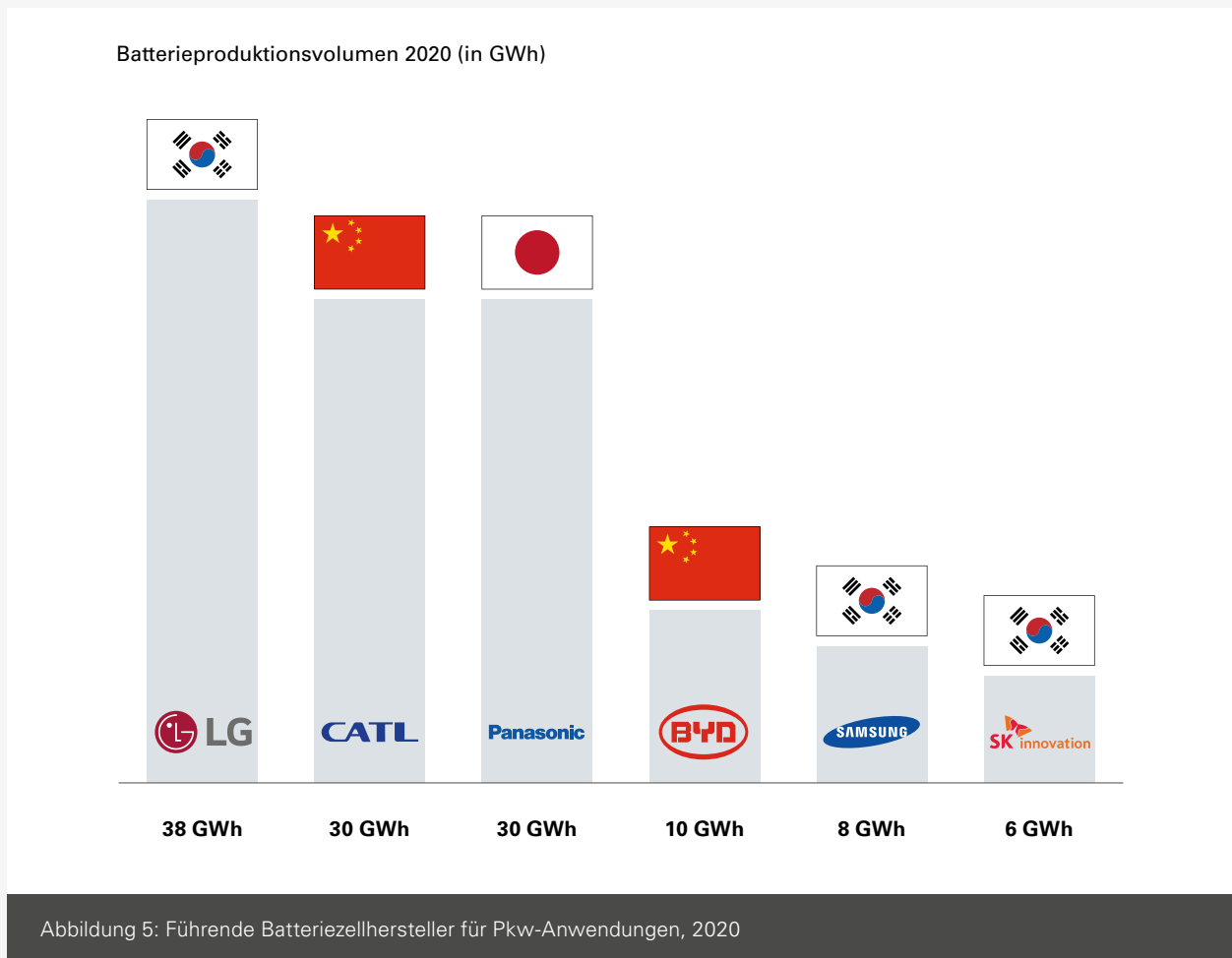


Abbildung 5: Führende Batteriezellhersteller für Pkw-Anwendungen, 2020

Exemplarisch für sechs der größten Batterieproduzenten dargestellt wird im Folgenden deren Anteil am Gesamtmarkt für elektrifizierte Pkw im Jahr 2020, anschließend auch für das erste Quartal 2021 zum Vergleich.

Mit einer installierten Gesamtkapazität von ca. 38 GWh führend ist 2020 das südkoreanische Unternehmen LG Chem, gefolgt von CATL (China, ca. 30 GWh) und Panasonic (Japan, ca. 30 GWh), BYD (China, ca. 10 GWh), Samsung SDI (Südkorea, ca. 8 GWh) und SK Innovation (Südkorea, ca. 6 GWh). Weitere Hersteller sind für insgesamt zusätzliche 14 GWh verantwortlich.

LG, Samsung und SK Innovation haben dabei mit Anteilen von ca. 61 %, 81 % bzw. 75 % einen starken Fokus auf den europäischen Markt, CATL und BYD hingegen setzen die größten Anteile (ca. 80 % bzw. 100 %) auf dem chinesischen Markt ab. Mit einem Anteil von ca. 50 % liegt der Fokus von Panasonic

vor allem auf dem US-amerikanischen Markt (Insideevs, 2021).

Im ersten Quartal 2021 verschiebt sich die Verteilung der Anteile unter den führenden Zellherstellern: Mit 13,3 GWh installierter Batteriekapazität führt nun CATL vor LG Chem (11,9 GWh) und Panasonic (9,1 GWh). Danach folgen die Unternehmen BYD (ca. 3 GWh), Samsung SDI (ca. 2,7 GWh) und SK Innovation (ca. 2,3 GWh) (Adamas Intelligence, 2021).

Produktionsprozesse und Wertschöpfungsstufen

Die Fertigung von Batteriesystemen für Automotive-Anwendungen unterliegt einem komplexen Produktionsprozess, der in unterschiedliche Schritte entlang der Wertschöpfungskette eingeteilt werden kann. Er umfasst die Phasen „Rohstoffgewinnung“, „Rohstoffverarbeitung“, „Zellproduktion“, „Modulfertigung“, „Packfertigung“ und „Fahrzeugintegration“ sowie nachgelagert das „Recycling“ von relevanten Batteriematerialien (NPM, 2019).

Auf allen Stufen der Wertschöpfung ist die deutsche und europäische Automobilindustrie derzeit in hohem Maße von Fremdleistungen abhängig. In der Abbildung unten ist die Wertschöpfungskette für ein Batteriesystem zur Anwendung in einem Fahrzeug schematisch dargestellt.

Die einzelnen Prozessschritte werden im Folgenden beschrieben (vgl. Kwade et al., 2018).

Die **Rohstoffgewinnung** umfasst den Abbau der für die Batteriezelle relevanten Rohstoffe und Materialien, derzeit insbesondere Lithium, Nickel, Mangan und Kobalt. Diese werden v. a. in Minen über und unter Tage abgebaut oder – bei Lithium – aus unterirdischen Solen gewonnen, anschließend vorverarbeitet, gereinigt sowie chemisch und/oder metallurgisch aufbereitet, um eine höchstmögliche Reinheit des Materials gewährleisten zu können (e-mobil BW, 2019b).



Abbildung 6: Wertschöpfungskette „Batteriesystem“ zur Fahrzeuganwendung

Die **Rohstoffverarbeitung** umfasst die anschließende Herstellung der chemischen Vormaterialien und die Bauteil- bzw. Komponentenproduktion. Insbesondere relevant ist hierbei die Verarbeitung der Rohstoffe zu sog. Aktivmaterialien (Kathode, Anode) und sog. Inaktivmaterialien, wozu beispielsweise Separatoren und Elektrodenfolien gehören. In unterschiedlichen Prozessschritten werden die zur Herstellung der Bauteile notwendigen Materialien (z. B. bei der Kathode: Nickel, Mangan, Kobalt) gemischt, zusammengeführt und erhitzt. Die Inaktivmaterialien werden beispielsweise durch Druckumformverfahren wie Walzen (z. B. bei Folien) erzeugt, anschließend beschichtet und zu sog. Coils verarbeitet oder mittels Schmelzverfahren hergestellt (z. B. bei Separatoren) und weiter verarbeitet.

In der anschließenden **Zellproduktion** werden die Elektroden zu Zellen zusammengefügt und final zur Verwendung vorbereitet. Hierfür kommen je nach Zelltyp (Rundzelle, prismatische Zelle, Pouch-Zelle) unterschiedliche Verfahren zum Einsatz, um die Elektrodenfolien zu falten, zu wickeln oder übereinanderzustapeln, anschließend zu kontaktieren, in einem Gehäuse einzuschließen und mit einer Elektrolytflüssigkeit zu befüllen. Abschließend erfolgen mehrere Prozessschritte, um die Batteriezellen für den Einsatz vorzubereiten, u. a. werden Lade- und Entladevorgänge (die sog. Formation) und ein kontrolliertes Altern in unterschiedlichen Temperaturfenstern durchgeführt.

Die **Modulproduktion** umfasst die Montage, Zusammenschaltung und Kontaktierung der einzelnen Zelleinheiten, die sowohl parallel als auch seriell verschaltet werden. Die Anzahl der parallel verschalteten Zellen bestimmt die Gesamtkapazität des Moduls, die Anzahl der seriell verschalteten Zellen die Spannung. In diesem Produktionsschritt werden zudem Bauteile für das Thermomanagement (z. B. Kühlelemente) und

zum Zellschutz bzw. zur Zellüberwachung (z. B. Sensoren) ergänzt.

Die Module werden anschließend in der **Packproduktion** zu einem Batteriepack zusammengefügt und montiert. Hierbei findet die Integration der Module über Befestigungssysteme in ein übergeordnetes Gehäuse (inkl. weiterer Kühlungs- und Isolierungselemente) statt. Dabei wird auch das sog. Batteriemanagementsystem (BMS) ergänzt, das die Be- und Entladefunktionen der Batterie sowie Überwachung und Regelung der Ströme, Spannungen und Temperaturen der Einzelzellen und des Gesamtsystems übernimmt.

Abschließend sind die fertigen Batteriepacks und -systeme für die **Fahrzeugintegration** vorzubereiten. Sie werden verschraubt und über elektronische Leiter und Hochvoltkabel mit der Fahrzeugelektronik, dem Ladesystem und dem E-Motor verbunden.

Nach Nutzung der Batterie in mobilen Anwendungen kann in einer finalen Stufe des Wertschöpfungsprozesses, dem **Recycling**, das in der Batterie verarbeitete Material teilweise zurückgewonnen und in die Herstellung neuer Batterien überführt werden. Die Batterien werden hierfür demontiert, mechanisch aufbereitet und in Öfen thermisch aufgeschmolzen.

Kritische Ressourcen und strategische Abhängigkeiten

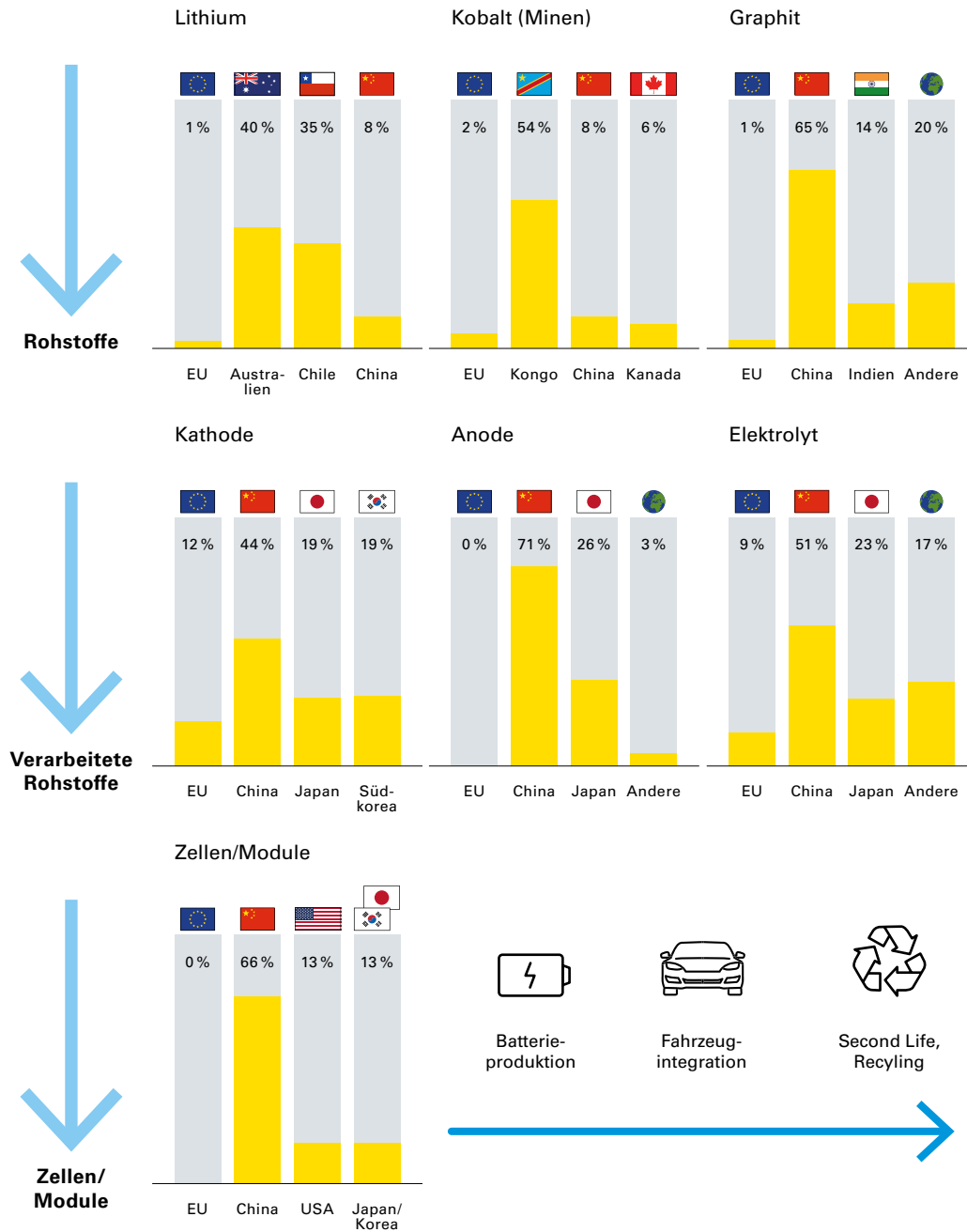
Strategische Abhängigkeiten bei kritischen Ressourcen und/oder Komponenten können sich auf verschiedene Stufen der Wertschöpfungskette beziehen: auf die Rohstoffgewinnung, auf Kapazitäten und Technologien bei der Rohstoffverarbeitung hin zu Bauteilen, Komponenten und Modulen sowie auf die Herstellung des Endprodukts selbst. Ein Großteil der im Rahmen der Transformation hin zu elektrifizierten Antriebssträngen als kritisch einzustufenden Materialien und Rohstoffe bezieht sich auf die Schlüsselkomponente „Batteriesystem“ (vgl. auch e-mobil BW, 2019b).

Die Rohmaterialien zur Herstellung eines Batteriesystems umfassen im Detail: Lithium (Kathode, Elektrolyt), Nickel (Verbindstoff), Kobalt (Kathode), Mangan (Kathode), Graphit (Anode), Kupfer (Folie, Drähte), Aluminium (Folie, Gehäuse), Eisen, Zinn, Phosphor und Fluor. Auch die Materialien Silizium (Anode), Titan (Anode) und Niobium (Anode) werden zukünftig stärker relevant, um die Leistungseigenschaften der Batterien (z. B. Energiedichte, Haltbarkeit) verbessern zu können.

Bei Gegenüberstellung des prognostizierten Bedarfs und der verfügbaren Reserven ist generell für die Rohstoffe Lithium, Kobalt und Nickel in Bezug auf die Gesamtmenge wenig Risiko einer physischen Verknappung zu erkennen – vorausgesetzt ist eine kontinuierliche Steigerung der jährlichen Abbaumengen (im Detail siehe auch e-mobil BW, 2019b). Bis zum Jahr 2050 wird ein Bedarf von ca. 14 bis 20 Mio. Tonnen für Lithium prognostiziert, für Kobalt sind es ca. 6 bis 9 Mio. Tonnen. Dem gegenüber stehen derzeit wirtschaftlich abbaubare Reserven i. H. v. ca. 17 Mio. Tonnen und ca. 80 Mio. weiteren theoretisch abbaubaren Tonnen in Reserve bei Lithium sowie i. H. v. ca. 7 Mio. Tonnen und ca. 25 Mio. weiteren Tonnen in Reserve bei Kobalt (Fluchs, 2021). Dennoch können kurzfristige Schwankungen von Angebot und Nachfrage sowie volatile Preisentwicklungen zu zeitlich und/oder lokal begrenzten Versorgungs-

schwierigkeiten bei den oben genannten und weiteren Batterierohstoffen führen (Reuter und Hendrich, 2020).

Bei Betrachtung der einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette können beim Batteriesystem generell hohe strategische Abhängigkeiten der deutschen und europäischen Automobilindustrie von Fremdleistungen identifiziert werden, diese sind in der nachfolgenden Abbildung beispielhaft auf Rohstoffebene für Lithium, Kobalt und Graphit, auf Bauteilebene für Kathode, Anode und Elektrolyt sowie auf Komponentenebene für die Batteriezelle und das Batteriemodul aufbereitet. Dargestellt sind die jeweils wichtigsten Länder und Regionen und deren Anteil an den Produktions- bzw. Lieferkapazitäten für den europäischen Wirtschaftsraum im Jahr 2018 (EC, 2019, 2020, 2021a; Agora, 2021; Harrison, 2021).



Quelle: in Anlehnung an EC 2019, 2020, 2021a

Abbildung 7: Abhängigkeit von Produktions- und Lieferkapazitäten in unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette bei Batteriesystemen in Europa im Jahr 2018

Insgesamt stammt nur 1 % aller kritischen Rohmaterialien des Batteriesystems (u. a. Lithium, Nickel, Kobalt, Mangan, Graphit) aus dem europäischen Umfeld, so dass derzeit eine sehr hohe strategische Abhängigkeit von einzelnen Ländern und/oder Weltregionen gegeben ist. Insgesamt werden 86 % der relevanten Rohstoffe in den Regionen Asien (44 %), Afrika und Südamerika (jeweils 21 %) gefördert, China hat dabei mit 32 % den größten Anteil.

Bei Detailbetrachtung der Versorgungssituation für den Rohstoff Lithium kann ebenfalls eine hohe Abhängigkeit von nur wenigen Ländern identifiziert werden. Chile besitzt dabei mit ca. 52 % den größten Anteil der weltweit bekannten Lithiumvorräte, wobei Australien in 2019 mit ca. 40 % den größten Anteil der Produktion verantwortete, gefolgt von Chile mit ca. 35 % und China sowie Argentinien mit jeweils ca. 8 %. Die weltweit größten Zulieferer für den Rohstoff sind Albermarle Corp. (USA), Sociedad Quimica y Minera de Chile (Chile), Livent Corp. (USA), Tianqi Lithium Industries Inc. (China) und Ganfeng Lithium (China). Letzteres Unternehmen hat direkte und langfristige Versorgungsverträge u. a. mit BMW, Volkswagen und LG abgeschlossen. Auch in Deutschland werden Möglichkeiten zum Abbau von Lithiumreserven erörtert. So plant beispielsweise das KIT, eine Pilotanlage zur Lithiumgewinnung aus Thermalwasser am Oberrhein zu errichten, und hat das Verfahren dafür bereits patentiert (KIT, 2020). Perspektivisch könnten mehrere Tausend Tonnen Lithium jährlich gefördert werden.

Ähnlich ist die Situation beim Rohstoff Kobalt: 54 % der weltweiten Kobaltminenproduktion stammten aus nur einem Land, der Demokratischen Republik Kongo. Auf den weiteren Plätzen folgen China (8 %), Kanada (6 %), Neukaledonien (5 %) und Australien (4 %). Bei der Raffination gewonnenem Kobalt ist wiederum eine hohe einseitige Abhängigkeit von China (46 %) zu erkennen, gefolgt von Finnland (13 %), Kanada und Belgien (beide 6 %). Führende Kobaltzulieferer sind Glencore plc (Schweiz), China Molybdenum (China), Katanga Mining Ltd. (Tochter von Glencore, Schweiz), Umicore NV/SA (Belgien) und Eurasian Resources Group (Luxemburg). Einige Automobilhersteller haben direkt mit den Rohstoffförderern Lieferverträge abgeschlossen, z. B. BMW mit Glencore und Audi mit Umicore. Auch beim Rohstoff Graphit stammt ein überwiegender Teil aus nur einer Weltregion, hier liefert China 65 % des Rohstoffs in die EU, gefolgt von Indien mit 14 %.

Auch bei den verarbeiteten Materialien hin zu Bauteilen und Komponenten in zweiter (z. B. Kathodenmaterialien) und dritter (z. B. Kathode) Stufe der Wertschöpfungskette existieren hohe strategische Abhängigkeiten. Der EU-Anteil an der Produktion lag 2018 nur bei 8 % bzw. 9 %. Insbesondere abhängig ist die Automobilindustrie hierbei von den zur Herstellung von Anode (z. B. Graphit) und Kathode (z. B. NMC, Nickel-Mangan-Kobalt) notwendigen Materialien und Fertigungsschritten. 84 % dieser Materialien und der daraus resultierenden Bauteile werden ebenfalls in Asien produziert. China hat dabei einen Anteil von 52 % und ist der Hauptlieferant von Anodenmaterialien sowie NMC- und LCO-(Lithium-Kobalt-Oxid)-Kathodenmaterialien, Japan hat einen Anteil von 31 % und liefert hauptsächlich das Material NCA (Nickel-Kobalt-Aluminium), ebenfalls zur Verwendung in Kathoden.

Bei Detailbetrachtung der einzelnen Bauteile ist die größte Abhängigkeit bei Anoden zu erkennen, die EU hat hier so gut wie keinerlei Anteil an der Belieferung. China dominiert mit einem Anteil von 71 %, gefolgt von Japan mit 26 %. Führende Unternehmen in der Herstellung von Anodenmaterialien sind Hitachi Chemicals (Japan), BTR Energy (China), Nippon Carbon (Japan), Ningbo Shanshan (China), Hunan Shinzoom Technology (China) und Jiangxi Zeto New Energy Tech (China). Deutsche Unternehmen mit Kompetenzen in der Herstellung von Anoden sind Custom Cells, Evonik sowie SGL Carbon.

Bei der Herstellung von Kathoden und Elektrolyten hingegen sind europäische Anteile an der Produktion zu erkennen, wenn auch in geringem Ausmaß: Insgesamt 12 % Anteil besitzt die EU an der Kathodenherstellung, 44 % kommen aus China, weitere je 19 % aus Japan und Südkorea. Deutsche Unternehmen tragen dabei mit einem Anteil von 2 % zu den europäischen Anteilen bei, zu nennen sind hier u. a. BASF sowie die deutsche Tochter von Umicore. Die größten Hersteller von Kathodenmaterialien weltweit sind Umicore (Belgien), Nichia (Japan), Toda Kogyo (Japan), Beijing Easpring (China), Ningdo Jinhe (China), GEM (China), Shanshan Energy (China), Xiamen Tungsten (China) und Kingray New Materials Science & Tech (China). Kathodenmaterialien bestimmen generell die wesentlichen Leistungseigenschaften einer Batterie und sind dementsprechend relevant, u. a. werden über Ausgestaltung und Kombination dieser Materialien Effizienz, Kosten, Lebensdauer und Zuverlässigkeit einer Batterie definiert. Sie machen darüber hinaus mit ca. 70 % den mit Abstand größten Anteil an den Materialkosten einer Batteriezelle aus, ca. 30 % der Gesamtkosten (NPM, 2019).

Ähnliche Abhängigkeiten können bei der Elektrolytherstellung identifiziert werden, die EU besitzt hier einen Anteil von 9 %, China hat 51 % und Japan ist für 23 % verantwortlich. Die führenden Unternehmen kommen ebenfalls aus diesen Ländern: CapChem Technology (China), Tinci Materials Tech (China), Guotai-Huarong (China), Panax-Etec (China), Ningbo Shanshan (China), Mitsui Chemicals (Japan), Ube (Japan) und Mitsubishi Chemicals (Japan). Deutsche Unternehmen mit Kompetenz im Bereich Elektrolyte sind z. B. Wacker Chemie (Hauptsitz in München; Standorte in Baden-Württemberg: Stuttgart, Stetten) und E-Lyte (Münster).

In vierter Stufe der Wertschöpfungskette (Zellfertigung) ist die europäische Automobilindustrie bei Batteriezellen fast vollständig von Zulieferern aus dem EU-Ausland abhängig. 79 % der weltweiten Produktionskapazitäten stammen aus Asien, weitere ca. 13 % aus den USA. Mit 66 % Anteil an der weltweiten Produktion von Li-Ion-Batteriezellen nimmt China dabei den größten Anteil ein. Die EU selbst verzeichnet derzeit nur einen Anteil von 0,2 %. Deutsche Unternehmen mit Kompetenzen im Bereich der Zellherstellung sind u. a. Custom Cells, LIACON und Varta. International führende Unternehmen sind z. B. LG Energy Solution (Südkorea), Contemporary Amperex Technology Co. Limited (CATL) (China), BYD (China), Panasonic (Japan), SK Innovation (SKI) (Südkorea), Samsung SDI (Südkorea), Guoxuan High Tech Power (China), Dynavolt (China), Farasis (China), BAK Battery (China), Lishen (China), Envision AESC (China), EVE Energy (China), DLG (China), DFD (China), Phylion Battery (China), Microvast (China), Tianneng (China), SVOLT (China) und SAFT (Frankreich).

Das Versorgungsrisiko in den Lieferketten bei Batteriesystemen ist für die deutsche und europäische Automobilindustrie insbesondere bei Rohstoffen insgesamt hoch bis sehr hoch, aber auch bei den weiterverarbeiteten Materialien, bei Bauteilen sowie bei Komponenten kann eine hohe und z. T. kritische Abhängigkeit mit einseitigen Lieferbeziehungen erkannt werden.

Ein Ausbau der europäischen Produktionskapazitäten bei Batteriezellen über die nächsten Jahre soll die strategische Abhängigkeit zumindest auf dieser Wertschöpfungsstufe perspektivisch verringern, ebenfalls sollen eigene Abbaukapazitäten bei ausgewählten Rohstoffen – z. B. Lithium – ausgebaut und vermehrt Potenziale des Recyclings kritischer Materialien genutzt werden.

Zuliefererbeziehungen der deutschen Automobilindustrie

Die Lieferkette für Batterien ist hochkomplex und besteht aus einer Vielzahl von kritischen Rohstoffen, Materialien, Bauteilen und Komponenten, von denen viele von Unternehmen bezogen und hergestellt werden, die z. T. neu in der Automobilbranche agieren. Die Rohstoffe werden in unterschiedlichen Weltregionen gewonnen, z. B. in Afrika, Australien, China und Südamerika, gewonnen werden. Die Verarbeitung der Rohstoffe und Herstellung der Vorprodukte (z. B. Kathode, Anode) ist zu großen Teilen in Asien konzentriert.

Um die Versorgung mit Rohstoffen und Batteriezellen für die Zukunft zu sichern, gehen immer mehr Automobilhersteller (z. B. BMW, Volkswagen, Ford, Toyota) neue Technologie- und Lieferpartnerschaften ein oder etablieren Joint Ventures mit Unternehmen aus dem Umfeld der Batterieindustrie. Zudem wollen die OEM vermehrt Wertschöpfungsstufen der Produktionskette stärker vertikal in das eigene Unternehmen integrieren, darunter die Zellfertigung, aber auch der Abbau und die Verarbeitung von Schlüsselmaterialien. Zunehmend setzen die Automobilhersteller auf diversifizierte Batteriestrategien, um die unterschiedlichen Anforderungen variierender Kundengruppen, Markt- und Fahrzeugsegmente in Bezug auf Preis, Qualität, Reichweite und Energiedichte bestmöglich erfüllen zu können. Der Fokus insbesondere von Premiumherstellern liegt in der Optimierung der Zellchemien sowie der Kombination bzw. des Einsatzes der Materialien, um so durch überlegene Produkte Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz etablieren zu können. OEM etablieren auf diese Weise z. T. gleichzeitig Verträge mit mehreren Zelllieferanten, um von unterschiedlichen technologischen Entwicklungen profitieren zu können oder um diese mit eigener (Teil-)Entwicklung und Produktion – und damit Kompetenzaufbau – verbinden zu können (Harrison, 2021).

Die deutschen Automobilhersteller Volkswagen, Audi, Porsche, BMW und Mercedes setzen so ebenfalls auf eine Diversifizierung der Zuliefererbasis, z. T. auch regional ausdifferenziert, um unterschiedliche Märkte (lokaler) bedienen zu können. Volkswagen hat beispielsweise für frühere Generationen elektrifizierter Modelle (z. B. e-Golf) ausschließlich Batterien von Samsung SDI bezogen, mittlerweile aber – auch vor dem Hintergrund gestiegener Absatzziele rein elektrischer Pkw – zusätzlich Lieferungen mit u. a. LG Chem, Samsung SDI und SKI für die Produktion in Europa, CATL für China und SKI für Nordamerika ab 2022 vereinbart. Zudem hat Volkswagen eine Vereinbarung mit dem schwedischen Unternehmen Northvolt geschlossen und sich kürzlich mit 20 % am Unternehmen beteiligt. Audi verwendet hauptsächlich Zellen von LG Chem sowie Samsung SDI. Das Unternehmen integriert die Zellen und Module selbst in einem Montagewerk in Brüssel mit einer Gesamtkapazität i. H. v. 3 GWh im Jahr 2020. Auch weitere OEM, hierunter BMW, haben mehrere Vereinbarungen mit Batterielieferanten unterzeichnet, darunter z. B. CATL, Samsung SDI und Northvolt. Während BMW für die existierende Modellpalette Batteriezellen hauptsächlich von Samsung SDI und A123 Systems bezieht, werden die kommenden Modelle mit Zellen des chinesischen Zulieferers CATL ausgestattet. BMW ist eine Partnerschaft mit dem schwedischen Batteriehersteller Northvolt eingegangen, zudem auf Materialebene mit der schweizerischen Unternehmensgruppe Glencore. Mercedes erhält Batteriezellen von dem südkoreanischen Hersteller LG Chem und SK Innovation sowie den chinesischen Zulieferern Farasis und CATL.

Die Zuliefererstrategien der deutschen Automobilhersteller zielen insgesamt darauf, zunehmend lokalere Multi-Sourcing-Modelle, in einigen Fällen auch strategische Joint Ventures und Technologiepartnerschaften zu etablieren, um Batteriezellen und -komponenten in der Zukunft zum einen flexibler

von anderen, ggfs. technologisch fortschrittlicheren, Lieferanten beziehen zu können und zum anderen diese perspektivisch selbst entwickeln und produzieren zu können, um Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz zu etablieren. Weiterhin prüfen die Automobilhersteller zunehmend Möglichkeiten der stärkeren vertikalen Integration der Batterieproduktion, um zusätzliche Vorteile in Bezug auf Transparenz und zusätzliche Kontrolle über die Lieferkette und vorgelagerte Wertschöpfungsprozesse zu ermöglichen.



Technologische Trends in der Zellentwicklung

Die real zu erwartenden Risiken in der Versorgung mit kritischen Materialien in der Wertschöpfungskette hängen eng mit der Entwicklung der Zellchemien und den verwendeten Kathoden- und Anodenmaterialien zusammen. Verschiedene Trends können hierbei derzeit beobachtet werden.

Zum einen ist zu erkennen, dass der derzeitige Trend zur Nutzung von Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-(NCA-) und Lithium-Nickel-Kobalt-Mangan-(NMC-)Batterien fortgeführt wird, wobei das teure (und kritische) Material Kobalt immer stärker durch Nickel substituiert werden soll. Dies hat in der Vergangenheit bei Kathodenmaterialien zu einer kontinuierlichen Weiterentwicklung der verwendeten Materialien von einem ausgeglichenen Verhältnis Nickel-Kobalt-Mangan von 1:1:1 (NCM111) zu NCM523, NCM622 und mittlerweile sogar NCM811 geführt (Avicenne, 2019).

Die Materialzusammensetzung wird stetig optimiert, wobei erwartet wird, dass eine neue, dominierende Zellchemie für Hochenergieanwendungen NCM955 (90% Nickel, 5% Kobalt, 5% Mangan) ab voraussichtlich 2028 verfügbar sein wird. Damit einher geht eine stetige Verbesserung der Energiedichten (bis ca. 210 Wh/kg auf Systemebene), so dass bei gleichem Gewicht und gleichem Volumen der Batteriezelle mehr Reichweite generiert werden kann. Zudem ist es Ziel, durch die stetige Optimierung der Materialzusammensetzung die zyklische und kalendarische Lebensdauer zu erhöhen und diese weiter dem Lebenszyklus von Pkw annähern zu können (Xu et al., 2020).

Neben der Substitution durch Nickel kann der Rohstoff Kobalt auch vermehrt durch sog. Konversionsmaterialien ersetzt werden, z. B. durch Kupfer- und Eisenfluoride oder Silizium. Dank verbesserter chemischer Eigenschaften sind diese Materialien in der Lage, zusätzliche Lithium-Ionen bei im Vergleich ähnli-

chem Beschichtungsvolumen zu speichern. Die unterschiedlichen Materialzusammensetzungen bei aktuellen Batteriezellen sind in Abbildung 8 im Vergleich dargestellt.

Auch Anodenmaterialien unterliegen einer stetigen Weiterentwicklung und können durch Optimierung zu einer signifikanten Verbesserung der Leistungseigenschaften einer Batterie beitragen. Zur Realisierung verbesserter Hochenergiezellen – z. B. im Einsatz in leistungsstarken E-Fahrzeugen im Premiumsegment – kann beispielsweise durch die Verwendung von Silizium oder Silizium-Kohlenstoff-Kompositen die Speicherkapazität von Lithium-Ionen um bis zu einem Faktor zehn im Vergleich zur Verwendung von (natürlichem) Graphit gesteigert werden. Gleichzeitig ist es so möglich, die im Premiumsegment besonders relevanten Leistungseigenschaften, wie z. B. Ladegeschwindigkeiten und -zeiten, zu verbessern.

Ein weiterer Trend besteht in der Entwicklung von kostengünstigeren Zellchemien als Ersatz der kritischen Materialien Kobalt, Nickel und Mangan für Volumenanwendungen und damit einhergehend mit geringeren Anforderungen an die Leistungseigenschaften. Hierbei werden insbesondere Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien (LFP, LiFePO₄) entwickelt und vermehrt im Zuge von Pkw-Anwendungen eingesetzt. Vorteile der LFP-Batterien sind die im Vergleich zu NCM oder NCA weniger komplexen Produktionsprozesse, die Verfügbarkeit der Ausgangsrohstoffe und damit letztlich geringere Material- sowie Produktionskosten. Sie bieten zudem Vorteile in Bezug auf die zyklische Lebensdauer der Batterien und verhalten sich thermisch stabiler, so dass die Sicherheit auch in Crashsituationen drastisch erhöht werden kann (Nitta et al., 2015). Dem gegenüber stehen im Vergleich zu NCM oder NCA geringere spezifische Energiedichten, die auf Systemebene derzeit ca. 130 Wh/kg erreichen. Während der Materialbedarf im Automotive-Sektor vor allem bei den kritischen Rohstoffen Nickel, Kobalt,

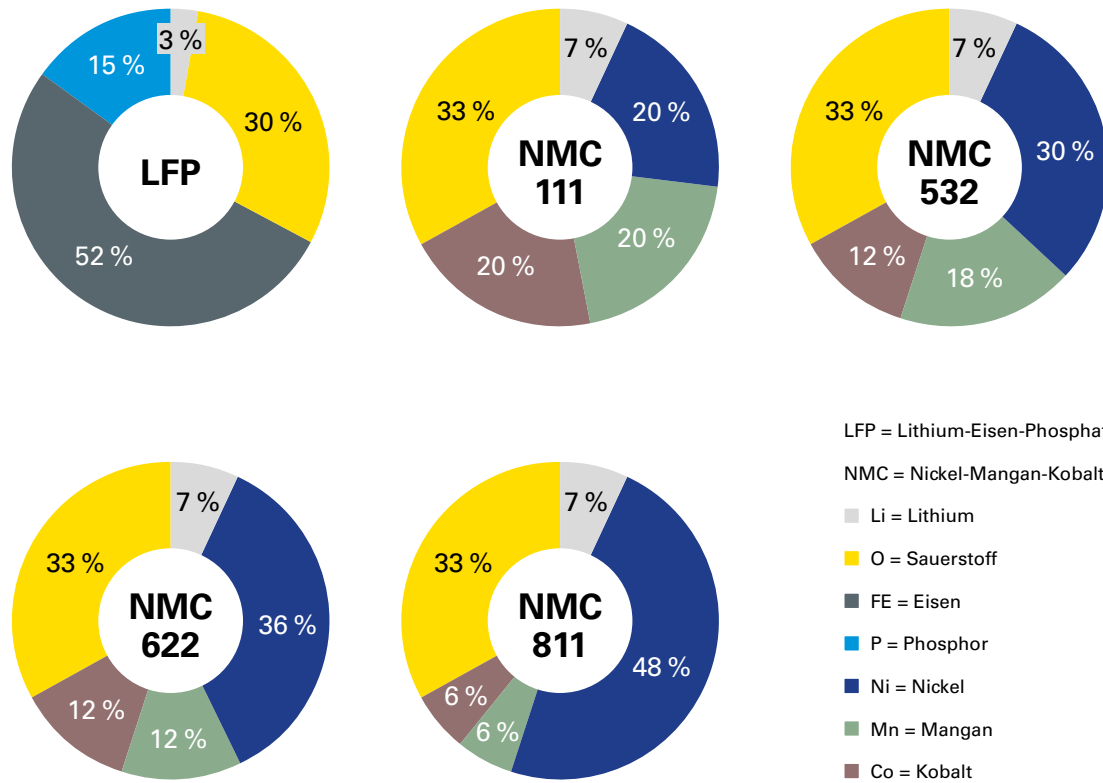


Abbildung 8: Materialzusammensetzung aktueller Batteriekathoden im Vergleich

Quelle: in Anlehnung an VDE, 2020

Mangan und Silizium durch Verwendung von LFP-Batterien verringert werden kann, würde der Bedarf an Aluminium, Kupfer und Graphit ansteigen.

Ein zusätzlicher Trend in Bezug auf die Entwicklung von Batteriezelltechnologien sind Festkörperbatterien in Form von z. B. Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Chemien. Diese könnten perspektivisch ab 2030 die heutigen Lithium-Ionen-Batterien vollständig ersetzen, befinden sich derzeit aber noch in einem frühen Stand der Technologieentwicklung (e-mobil BW, 2019a). Insbesondere ergeben sich Herausforderungen aus einer noch zu niedrigen Zykluslebensdauer, aus Aspekten der Sicherheit

und aus der zur erfolgreichen Kommerzialisierung notwendigen Vereinfachung von komplexen und aufwändigen Produktionsprozessen (Denk et al., 2020). Theoretisch erreichen diese Chemien spezifische Energiedichten von ca. 300 Wh/kg (Lithium-Schwefel) bzw. 400 Wh/kg (Lithium-Luft) auf Batteriesystemebene. Durch eine (schrittweise) Einführung dieser Technologien in die Pkw-Anwendung ab ca. 2030 würde sich der Bedarf an kritischen Materialien wie Nickel, Kobalt, Mangan, Silizium und Graphit kontinuierlich reduzieren lassen. Ebenfalls ist bei dieser Zelltechnologie ein geringerer Materialeinsatz von Aluminium und Kupfer notwendig.

Industriepolitische Ziele in der EU

Aufgrund der strategischen Bedeutung von Batteriesystemen als kritische Komponente für heutige und zukünftige Fahrzeuge ist der Aufbau von Technologie- und Fertigungskompetenz auf allen Stufen der Wertschöpfung auch Teil industriepolitischer Ziele und Diskussionen. So plant u. a. die Europäische Kommission die Umsetzung einer Roadmap zur Einführung von Umweltkriterien für die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien – auch mit dem Ziel, die Lokalisierung der Produktion an europäischen Standorten zu stärken. Ab 2024 sollen so für die Wertschöpfung relevante Komponenten wie Kathode und Anode aus dem europäischen Wirtschaftsraum bezogen werden, ab 2027 soll eine vollständige Belieferung aller Komponenten von EU-Standorten aus erfolgen (EC, 2021b). Im Handelsabkommen zwischen der EU und dem Vereinigten Königreich sind ebenfalls konkrete Anteile lokal herzustellender Komponenten genannt: Bis 2023 müssen 30 % der Komponenten eines Batteriesystems aus dem gemeinsamen Handelsraum kommen, ab 2024 steigt dieser Wert dann auf 50 % an (EC, 2021c).

Weiterhin wird eine **europäische Batterieallianz** zur Stärkung von Investitionen und zur Ausweitung von Produktionskapazitäten umgesetzt, um strategische Abhängigkeiten – insbesondere von Asien – verringern zu können und die Wertschöpfungskette auf allen Stufen zu stärken. Konkret wurde 2021 hierfür zusätzlich zu den im Jahr 2019 bereitgestelltem 3,2 Mrd. EUR ein weiteres „Important Project of Common European Interest“ (IPCEI) in Form der European Battery Innovation etabliert und mit Fördergeldern i. H. v. 2,9 Mrd. EUR finanziert. Hierbei soll neben dem Aufbau von eigenen Produktionsstandorten auch in den weiteren Aufbau von Kompetenz in der Forschung und Entwicklung investiert werden. Mehrere baden-württembergische Unternehmen sind hier beteiligt: Varta, ElringKlinger, Cellforce Group, Manz und ACI Systems; abgedeckt werden die Wertschöpfungsstufen Rohstoffe und

Materialien sowie Batteriezellen und Batteriesysteme. Am Recycling ist kein baden-württembergisches Unternehmen beteiligt (BMW, 2021). Weiterhin wurde von der EU das Ziel kommuniziert, bis zum Jahr 2025 jährlich sieben Millionen Elektrofahrzeuge produzieren sowie zu diesem Zeitpunkt ca. 80 % aller benötigten Lithiumrohstoffe aus eigenen europäischen Quellen beziehen zu können (Osusky, 2021).

Die Europäische Kommission hat zudem neue **spezifische Recyclingziele** für Lithium-Ionen-Batterien vorgeschlagen. In dem Vorschlag werden spezifische Rückgewinnungsquoten für die kritischen Rohstoffe Kobalt, Nickel, Lithium und Kupfer festgelegt sowie die Forderung formuliert, dass neue Batterien ab 2030 erstmals einen Mindestanteil an recyceltem Material besitzen sollen. Die derzeit vorgeschlagenen Ziele schreiben eine Recyclingeffizienz (Material-Input vs. Material-Output) von 65 % bis 2025 und 70 % bis 2030 vor. Darüber hinaus wird in dem Vorschlag empfohlen, die spezifischen Verwertungsquoten für Kobalt, Nickel, Lithium und Kupfer von 90 % im Jahr 2025 auf 95 % im Jahr 2030 weiter zu steigern.

Literaturverzeichnis

Adamas Intelligence (2021). CATL Edged Out LG Energy Solution for the Lead by GWh in Deployed in Q1 2021. Online verfügbar unter <https://www.adamasintel.com/catl-takes-lead-2021-q1/>, zuletzt abgerufen am 09.12.2021.

Agora Verkehrswende (2021). Batteriestandort auf Klimakurs. Perspektiven einer klimaneutralen Batterieproduktion für Elektromobilität in Deutschland. Berlin.

Avicenne Energy (2019). The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2018–2030. Online verfügbar unter <https://www.bpifrance.fr/content/download/76854/831358/file/02%20-%20Presentation%20Avicenne%20-%20Christophe%20Pillot%20-%2028%20Mai%202019.pdf>, zuletzt abgerufen am 10.12.2021.

Battery-News (2021). Batterieprojekte in Europa. Online verfügbar unter <https://battery-news.de/index.php/2021/10/01/batterieprojekte-in-europa-stand-oktober-2021/>, zuletzt abgerufen am 09.12.2021.

Bernhart, Wolfgang (2019). Recycling von Lithium-Ionen-Batterien im Kontext von Technologie- und Preisentwicklungen. In ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 14, 01–02/2019, S. 38–43.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2021). IPCEIs in der Batteriefertigung. Pressemitteilung vom 11.3.2021. Online abrufbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads//ipceis-in-der-batteriezellfertigung.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt abgerufen am 10.12.2021.

Deng, Jie; Bae, Chulheung; Denlinger, Adam; Miller, Theodore (2020). Electric Vehicles Batteries: Requirements and Challenges. In Joule Vol. 4 (3), S. 511–515.

e-mobil BW (Hrsg.) (2019a). Strukturstudie BW^e mobil 2019. Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung. Online verfügbar unter <https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Strukturstudie2019.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.01.2022.

e-mobil BW (Hrsg.) (2019b). Rohstoffe für innovative Fahrzeugtechnologien: Herausforderungen und Lösungsansätze. Online verfügbar unter https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Material-Studie_e-mobilBW.pdf, zuletzt abgerufen am 18.01.2022.

European Commission (EC) (2019). Bericht der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, den Ausschuss der Regionen und die Europäische Investitionsbank zur Umsetzung des strategischen Aktionsplans für Batterien: Aufbau einer strategischen Wertschöpfungskette für Batterien. Brüssel.

European Commission (EC) (2020). Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – a foresight study. European Commission. Brüssel.

European Commission (EC) (2021a). Strategic dependencies and capacities – Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe’s recovery. European Commission Working Staff Document. Brüssel.

European Commission (EC) (2021b). Questions and Answers on Sustainable Battery Regulation. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ganda_20_2311, zuletzt abgerufen am 08.12.2021.

European Commission (EC) (2021c). Abkommen über Handel und Zusammenarbeit zwischen der Europäischen Union und der Europäischen Atomgemeinschaft einerseits und dem Vereinigten Königreich Großbritannien und Nordirland andererseits. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A2021A0430%2801%29&from=EN>, zuletzt abgerufen am 18.01.2022.

Fluchs, Sarah (2021). Batterierecycling: Potenziale zur Reduzierung der Rohstoffabhängigkeit. In IW-Kurzbericht 35/2021. Institut der deutschen Wirtschaft. Köln.

Fröndhoff, Bert; Witsch, Kathrin (2021). Europa wird zum neuen Epizentrum der globalen Batterieindustrie. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektromobilitaet-europa-wird-zum-neuen-epizentrum-der-globalen-batterieindustrie/27664100.html>, zuletzt abgerufen am 06.12.2021.

Harrison, Daniel (2021). Electric Vehicle Battery Supply Chain Analysis: How Battery Demand and Production are Reshaping the Automotive Industry. London.

Hendrich, Aline; Reuter, Benjamin (2020). Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe für Elektrofahrzeuge. In ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 112, 04/2020, S. 54–57.

InsideEVs (2021). Batteriemarkt: 134,5 Gigawattstunden in 2020 sind neuer Rekord. Online verfügbar unter <https://insideevs.de/news/487257/elektroauto-batterienmarkt-2020-gigawattstunden-igchem/>, zuletzt abgerufen am 06.12.2021.

International Energy Agency (IEA) (2020). Global EV Outlook 2020: Entering the decade of electric drive?

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (2020): Neues Verfahren ermöglicht Lithiumabbau in Deutschland. (= Presseinformation 054/2020). Online abrufbar unter https://www.kit.edu/kit/pi_2020_054_neues-verfahren-ermoglicht-lithiumabbau-in-deutschland.php, zuletzt abgerufen am 10.12.2021.

Kwade, Arno; Haselrieder, Wolfgang; Leithoff, Ruben; Modlinger, Armin; Dietrich, Franz; Droeder, Klaus (2018). Current status and challenges for automotive battery production technologies. In: Nature Energy, Volume 3, S. 290–300.

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) (2019). 1. Zwischenbericht zur Wertschöpfung. Arbeitsgruppe 4 – „Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung“, Fokusgruppe Wertschöpfung. Online verfügbar unter https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2019/10/npm-ag4-fg_wertschoepfung-berichte-2019-zwischenbericht-2.pdf, zuletzt abgerufen am 18.01.2022.

Nitta, Naoki; Wu, Feixiang; Lee, Jung Tae; Yushin, Gleb (2015). Li-ion battery materials: present and future. Mater. In Materials Today Vol. 18 (5), S. 252–264.

Osusky, Linda (2021). Wie die EU Spanien zu Europas Lithium-Mine machen will. Online verfügbar unter <https://background.tagesspiegel.de/mobilitaet/wie-die-eu-spanien-zu-europas-lithium-mine-machen-will>, zuletzt abgerufen am 08.12.2021.

Roland Berger und fka (2019). E-Mobility Index 2019. München.

Statistisches Bundesamt (2021). Herstellung von Batterien und Akkumulatoren (WZ08-27.2).

Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE) (2020). Trends im Lithium-Ionen-Batteriemarkt. Essen.

Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE) (2021). Batteriezellfertigung für die Elektromobilität in Deutschland. Frankfurt am Main.

World Economic Forum (WEF) (2019). A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030. Genf.

Xu, Chengjian; Dai, Qiang; Gaines, Linda; Hu, Mingming; Tukker, Arnold; Streubing, Bernhard (2020). Future material demand for automotive lithium-based batteries. In Communications Materials 1/99.

ZVEI (2020). Faktenblatt Wachstumsmarkt Batterien. Frankfurt am Main.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Batteriekapazitäten je Anwendungssegment, 2018–2030	7
Abbildung 2: Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Batteriekapazitäten je Region, 2020–2030	7
Abbildung 3: Übersicht über vorhandene und geplante Batterieproduktionsstandorte und -kapazitäten in Europa	9
Abbildung 4: Entwicklung der Batterieproduktionskapazitäten nach Region, 2020–2030	10
Abbildung 5: Führende Batteriezellhersteller für Pkw-Anwendungen, 2020	11
Abbildung 6: Wertschöpfungskette „Batteriesystem“ zur Fahrzeuganwendung	12
Abbildung 7: Abhängigkeit von Produktions- und Lieferkapazitäten in unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette bei Batteriesystemen in Europa im Jahr 2018	15
Abbildung 8: Materialzusammensetzung aktueller Batteriekathoden im Vergleich	21

Impressum

Herausgeber

Cluster Elektromobilität Süd-West c/o e-mobil BW GmbH –
Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg

Autor:innen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. – Institut für Fahrzeugkonzepte
Benjamin Frieske

IMU Institut GmbH
Sylvia Stieler

Redaktion und Koordination des Themenpapiers

e-mobil BW GmbH
Anja Krätschmer, Laura Halbmann, Stephan Braun

Layout/Satz/Illustration

markentrieb
Die Kraft für Marketing und Vertrieb

Fotos

Umschlag: © Image Source Trading Ltd/shutterstock
Die Quellennachweise aller weiteren Bilder befinden sich auf der jeweiligen Seite.

Auslieferung und Vertrieb

e-mobil BW GmbH, Leuschnerstraße 45, 70176 Stuttgart
Telefon +49 711 892385-0, Fax +49 711 892385-49, info@e-mobilbw.de, www.e-mobilbw.de

Februar 2022

© Copyright liegt bei den Herausgebern

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.



www.e-mobilbw.de

e-mobil BW GmbH

Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und
Automotive Baden-Württemberg

Leuschnerstraße 45 | 70176 Stuttgart
Telefon +49 711 892385-0 | Fax +49 711 892385-49
info@e-mobilbw.de