

Lichtenthäler, Sarah; Bähr, Cornelius

Article

Neue Batterien aus Recyclingmaterial: Was ist in Europa möglich?

IW-Trends - Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung

Provided in Cooperation with:

German Economic Institute (IW), Cologne

Suggested Citation: Lichtenthäler, Sarah; Bähr, Cornelius (2024) : Neue Batterien aus Recyclingmaterial: Was ist in Europa möglich?, IW-Trends - Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung, ISSN 1864-810X, Institut der deutschen Wirtschaft (IW), Köln, Vol. 51, Iss. 3, pp. 107-130,
<https://doi.org/10.2373/1864-810X.24-03-06>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/306500>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

IW-Trends

Neue Batterien aus Recyclingmaterial

Sarah Lichtenthäler / Cornelius Bähr, September 2024

IW-Trends 3/2024

Vierteljahresschrift zur
empirischen Wirtschaftsforschung
Jahrgang 51



Herausgeber

Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Postfach 10 19 42
50459 Köln
www.iwkoeln.de

Das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) ist ein privates Wirtschaftsforschungsinstitut, das sich für eine freiheitliche Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung einsetzt. Unsere Aufgabe ist es, das Verständnis wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Zusammenhänge zu verbessern.

Das IW in den sozialen Medien

X
[x.com@iw_koeln](https://twitter.com/iw_koeln)

LinkedIn
[@Institut der deutschen Wirtschaft](https://www.linkedin.com/company/institut-der-deutschen-wirtschaft)

Facebook
[@IWKoeln](https://www.facebook.com/IWKoeln)

Instagram
[Instagram@IW_Koeln](https://www.instagram.com/IW_Koeln)

Verantwortliche Redakteure

Prof. Dr. Michael Grömling

Senior Economist
groemling@iwkoeln.de
0221 4981-776

Holger Schäfer

Senior Economist
schaefer.holger@iwkoeln.de
030 27877-124

**Alle Studien finden Sie unter
www.iwkoeln.de**

Rechte für den Nachdruck oder die elektronische Verwertung erhalten Sie über lizenzen@iwkoeln.de.

In dieser Publikation wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit regelmäßig das grammatische Geschlecht (Genus) verwendet. Damit sind hier ausdrücklich alle Geschlechteridentitäten gemeint.

ISSN 1864-810X (Onlineversion)

© 2024
Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH
Postfach 10 18 63, 50458 Köln
Konrad-Adenauer-Ufer 21, 50668 Köln
Telefon: 0221 4981-450
iwmedien@iwkoeln.de
iwmedien.de

Neue Batterien aus Recyclingmaterial - Was ist in Europa möglich?

Sarah Lichtenthäler / Cornelius Bähr, September 2024

Zusammenfassung

Im Rahmen der Energiewende und des Klimaschutzes ist die Elektromobilität ein wichtiger Baustein zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Die Batterie spielt hierbei eine zentrale Rolle. Mit steigendem Marktanteil dieser Fahrzeuge steigt auch der Bedarf an Rohstoffen für die Batterieproduktion. Die EU-Batterieverordnung von 2023 gibt spezifische Rezyklatgehalte und Recyclingeffizienzen für einzelne Rohstoffe in Batterien vor, um die Nachhaltigkeit der Rohstoffnutzung sicherzustellen. Der Beitrag prognostiziert, dass genügend Recyclingmaterial für Nickel vorhanden ist, um die Vorgaben der Batterieverordnung zu erfüllen. Bei Lithium und Kobalt hingegen könnten abhängig von der genauen Entwicklung Engpässe auftreten. Für Kobalt ist dies deutlicher ausgeprägt als für Lithium. Vor allem eine längere Batterielebensdauer und eine Weiternutzung der Fahrzeugbatterien in Second-Life-Anwendungen können die Knappheit der beiden Rohstoffe erhöhen. Insgesamt scheint die Erreichung der Rezyklateinsatzquoten aus der EU-Batterieverordnung sehr ambitioniert zu sein. Für Lithium und Nickel werden die Vorgaben als erreichbar eingestuft, für Kobalt hingegen wird es kritischer. Eine Grundvoraussetzung für die Erfüllung der Quoten ist eine effiziente Sammlung der Batterien am Ende ihres Lebenszyklus. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft muss zusätzlich zu den Maßnahmen am Anfang der Batterie-Wertschöpfung die Option des Second Life für Elektrofahrzeugbatterien weiterverfolgt werden. Zwar steigt durch die Weiternutzung der Fahrzeugbatterien der Druck auf die Rezyklatmengen, jedoch gilt im Sinne der Ressourceneffizienz eine möglichst hochwertige Nutzung der Produkte und Komponenten.

Stichwörter: Kreislaufwirtschaft, Recycling, Batterien, Elektrofahrzeuge, Rohstoffe
JEL-Klassifikation: O30, Q30, Q55, Q56

DOI: 10.2373/1864-810X.24-03-06

Bedarf an nachhaltigen Batterien für Elektrofahrzeuge

Im Rahmen der Energiewende und des Klimaschutzes spielt die Marktdurchdringung der Elektromobilität als Baustein zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors eine wesentliche Rolle. Mit dem European Green Deal hat sich die Europäische Union (EU) verpflichtet, bis 2050 treibhausgasneutral zu sein und forciert unter anderem eine höhere Ressourceneffizienz der europäischen Wirtschaft. Teil dieser Wachstumsstrategie mit dem Ziel der Klimaneutralität ist die Umstellung des Einsatzes fossiler Kraftstoffe in Fahrzeugen auf elektrisch betriebene Fahrzeuge. Verschiedene Faktoren begünstigen die steigende Nachfrage nach Elektroautos in den letzten Jahren und legen zudem eine weitere Wachstumsprognose nahe. Es existiert eine Bandbreite an politischen Rahmenbedingungen, die durch verschiedene finanzielle Förderungen und nicht-monetäre Anreize die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen steigern. Darunter fallen direkte Subventionen für den Fahrzeugkauf und bei der Errichtung von privaten Ladepunkten, aber auch Privilegien bei Parkplätzen oder auch indirekte Maßnahmen, zum Beispiel die Verschärfung der zulässigen Abgasnormen in Umweltzonen. Zudem will die EU die Emissionen von Personenkraftwagen bis 2030 um 55 Prozent gegenüber 2021 senken. Bis 2035 sollen die Emissionen von neu zugelassenen Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen auf null reduziert werden.

Bei der Umstellung des Einsatzes fossiler Kraftstoffe in Fahrzeugen auf elektrisch betriebene Fahrzeuge spielt die Batterie eine zentrale Rolle. Die Nachhaltigkeit von Elektrofahrzeugen hängt von zwei wesentlichen Faktoren ab. Zum einen fahren sie nur dann emissionsfrei, wenn sie mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden. Zum anderen ist die Fahrzeugproduktion, oder vor allem die Batterieproduktion, emissionsintensiver als die von vergleichbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Aus diesem Grund liegt ein besonderes Augenmerk auf der Nachhaltigkeit der in den Fahrzeugen verbauten Batterien. Mit einem steigenden Marktanteil der Fahrzeuge steigt ebenso der Bedarf an Rohstoffen für die Batterieproduktion. Um deren Nachhaltigkeit auch bezogen auf den Rohstoffeinsatz sicherzustellen, hat die EU im letzten Jahr eine Batterieverordnung verabschiedet, die explizit Rezyklatgehalte (Anteil wiederverwerteter Rohstoffe am Gesamtrohstoffeinsatz), unter anderem von Elektrofahrzeugbatterien, vorgibt. Vor allem da Batterien kritische Rohstoffe enthalten, die zum einen knapp und zum anderen stark geografisch zentriert sind, ist auch bezogen

auf die zukünftige Sicherstellung der Rohstoffverfügbarkeit und die Reduzierung der Rohstoffabhängigkeiten ein Umdenken gefordert (Fluchs, 2021).

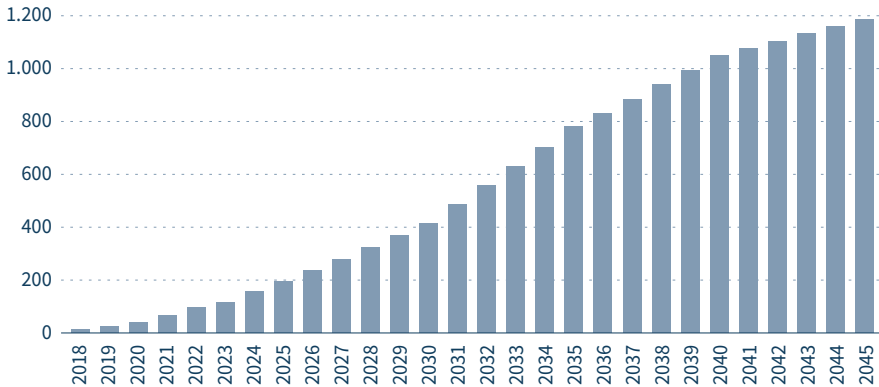
Die neue EU-Batterieverordnung setzt an diesem Punkt an und definiert konkrete Sammelquoten, Recyclingeffizienzen und Rezyklatgehalte für unterschiedliche Batterietypen, darunter Traktionsbatterien für Elektrofahrzeuge. Die neue EU-Verordnung greift somit die Tatsache auf, dass auch Fahrzeugbatterien nur dann nachhaltig sind, wenn sie recyclingfähig sind und das Material in Kreisläufen gehalten wird. Dass die Batteriebranche für die Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft eine Vorreiterrolle einnimmt, wird zudem an der Tatsache deutlich, dass der digitale Produktpass erstmalig für Batterien umgesetzt werden soll. Ab Februar 2027 ist dieser digitale Batteriepass für alle in der EU auf den Markt gebrachten Elektrofahrzeug-Batterien vorgesehen. Ziel ist es, mehr Transparenz in der Wertschöpfungskette zu erreichen, die Nachhaltigkeit zu steigern und Umweltauswirkungen zu minimieren. Zudem soll die Zweitverwertung von Batterien mit dem digitalen Batteriepass vereinfacht werden. Die Relevanz und Größenordnung der Recyclingvorgaben wird an den Markthochlaufprognosen für Elektrofahrzeuge deutlich: Bis 2030 sollen weltweit etwa 40 Prozent der Fahrzeuge elektrisch betrieben sein, im Jahr 2040 sollen es bereits 70 Prozent rein elektrische Fahrzeuge sein. Dieser Anstieg der Elektroautos führt wiederum dazu, dass sich die globale Nachfrage nach Batterien zwischen 2030 und 2040 auf bis zu 6.500 Gigawattstunden verdoppeln wird (Strategy&/RWTH Aachen, 2023). In Europa wird bis 2045 ein Anstieg der Batteriekapazitäten in neu zugelassenen Fahrzeugen auf fast 1.200 Gigawattstunden erwartet (Abbildung 1).

Der vorliegende Beitrag analysiert vor diesem Hintergrund die Umsetzbarkeit der vorgegebenen Rezyklatgehalte. Basierend auf den Batterien, die aktuell auf europäischen Straßen unterwegs sind, und Prognosen über die zukünftige Bedarfsentwicklung soll eine Abschätzung getroffen werden, ob die Vorgaben der Batterieverordnung erfüllt werden können. Als Basis für die weitere Analyse wird die politische Flankierung wie die EU-Batterieverordnung kurz erläutert. Anschließend werden die relevanten Rohstoffe in den Fahrzeugbatterien für die unterschiedlichen Batterietypen beschrieben und deren Nachfrageentwicklung in der EU bis 2045 skizziert sowie deren Recycling bezogen auf die Rohstoffrückgewinnung beschrieben. Schließlich wird die prognostizierte

Prognostizierte Batteriekapazitäten in jährlich neu zugelassenen Fahrzeugen in Europa

Abbildung 1

Angaben in Gigawattstunden



Europa: EU-27, Schweiz, Norwegen, Island.

Quellen: ACEA, 2024; EEA, 2024; IEA, 2024; Institut der deutschen Wirtschaft

Abbildung 1: <https://dl.iwkoeln.de/index.php/s/jNpB3PcgPHnmxz3>

Nachfrage nach Batterierohstoffen (Kobalt, Lithium und Nickel) den Verfügbarkeiten gegenübergestellt, um die Umsetzbarkeit der vorgegebenen Rezyklatgehalte zu analysieren.

Politische Flankierung durch die EU-Batterieverordnung

Die neue EU-Batterieverordnung trat im August 2023 in Kraft. Sie ersetzt die alte Batterierichtlinie und ist nach einer Frist von sechs Monaten seit dem 18. Februar 2024 in allen EU-Mitgliedsländern gültig. Die Batterieverordnung verfolgt das Ziel, die negativen Umweltauswirkungen von Batterien zu reduzieren, und fokussiert dabei den gesamten Batterielebenszyklus, den CO₂-Fußabdruck, ethische Aspekte in der Rohstoffbeschaffung sowie die Wiederverwendung, die Umnutzung und das Recycling der Batterien. So werden erstmalig Rezyklatgehalte auf Materialebene für Kobalt (16 Prozent), Blei (85 Prozent), Lithium (6 Prozent) und Nickel (6 Prozent) für neu hergestellte Batterien ab 2031 vorgeschrieben. Fünf Jahre später sollen die für

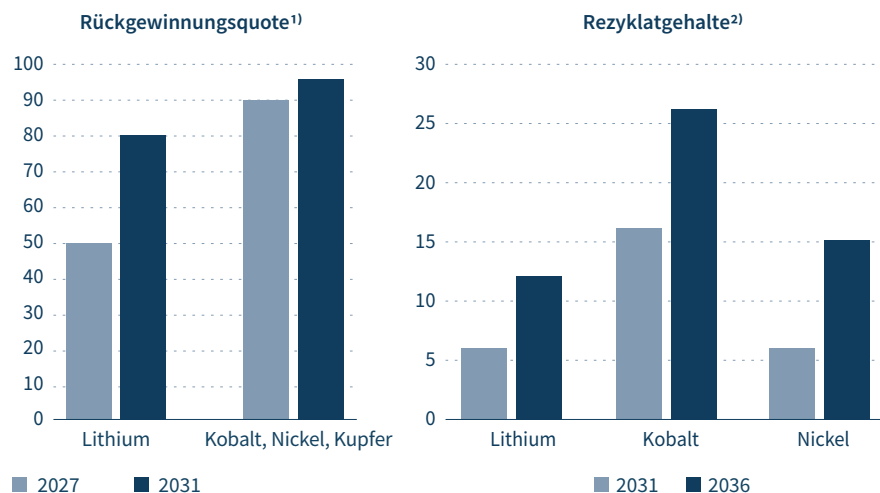
Fahrzeuggatterien relevanten Anteile anstegen, sodass ab 2036 insgesamt 26 Prozent des Kobalts, 12 Prozent des Lithiums und 15 Prozent des Nickels in neuen Batterien aus Rezyklaten, das heißt aus recycelten Materialien aus Altbatterien oder anderen Produkten, bestehen (EU, 2023).

Zudem werden rohstoffspezifische Rückgewinnungsquoten eingeführt (Abbildung 2): Für die Rohstoffe, die bereits durch heutige Recyclingverfahren gut wiedergewonnen werden können (Kobalt, Nickel und Kupfer), werden hohe Rückgewinnungsquoten von 90 Prozent im Jahr 2027 und 95 Prozent im Jahr 2031 vorgegeben. Sie liegen deutlich höher als die Vorgaben für Lithium, das im Jahr 2027 zu 50 Prozent und im Jahr 2031 zu 80 Prozent wiedergewonnen werden muss. Definiert ist die Recycling-

Rückgewinnungsquoten und Rezyklatgehalte gemäß EU-Batterieverordnung

Abbildung 2

Angaben in Prozent



1) Rückgewinnungsquote: Anteil des zurückgewonnenen Materials durch den Recyclingprozess.

2) Rezyklatgehalt: Anteil wiederverwerteter Rohstoffe am Gesamtrohstoffeinsatz.

Quellen: EU; Institut der deutschen Wirtschaft

Abbildung 2: <https://dl.iwkoeln.de/index.php/s/g2brBzZ8RF38AdH>

effizienz in der EU als Quotient der Masse der wiedergewonnenen Rohstoffe und der Inputmasse der Altbatterien. Die bisherige Vorgabe sah vor, dass lediglich 50 Prozent des durchschnittlichen Gesamtgewichts von Fahrzeugbatterien mit Lithium-Anteil recycelt werden müssen. Im Jahr 2025 steigt der Anteil auf 65 Prozent und im Jahr 2030 auf insgesamt 70 Prozent.

Die Batterieverordnung erteilt der Europäischen Kommission das Recht, diese Zielvorgaben Ende 2028 nach einer Prüfung anzupassen. Dies kann geschehen, sofern die Verfügbarkeiten und geplanten Verfügbarkeiten dieser Sekundärrohstoffe und die technischen Möglichkeiten eine Änderung der Zielvorgaben erforderlich machen. Gleichzeitig ist die EU-Kommission befugt, weitere Materialien für verpflichtende Rezyklatgehalte aufzunehmen, sofern dies die Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Batterien notwendig macht.

Kritische Rohstoffe in Fahrzeugbatterien

Die erforderlichen Rohstoffe für die Herstellung einer Batterie sind von der Batterietechnologie abhängig. Aktuell sind Lithium-Ionen-Batterien die führende Technologie für den Einsatz in Elektrofahrzeugen. Dabei werden Rohstoffe mit unterschiedlicher Kritikalität eingesetzt:

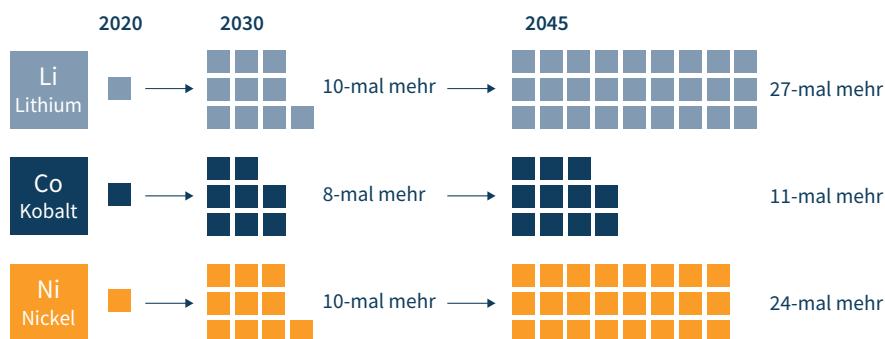
- Im Elektrolyten befindet sich der Rohstoff Lithium, dessen Kritikalität aufgrund der weiten Verbreitung der Vorkommen und die jüngsten Investitionen in die Förderung verglichen mit einigen anderen Rohstoffen, wie Kobalt oder Seltenen Erden, als geringer zu bewerten ist. Grundsätzlich ist aber auch Lithium als kritischer Rohstoff einzustufen (Bähr et al., 2024). Der Aufbau der Industrie zum Abbau von Lithium schreitet in den letzten Jahren voran und auch europäische Vorhaben, zum Beispiel am Oberrhein oder in Jadar in Serbien, werden umgesetzt oder wieder aufgenommen.
- Graphit ist wesentlicher Bestandteil der Anode, das heißt des Minuspols der Batterie. Differenziert wird zwischen reinen graphitbasierten Anoden und denjenigen, die sowohl Graphit als auch Silizium enthalten. Letztere benötigen im Vergleich zu rein graphitbasierten Anoden etwa die Hälfte der Graphitmenge (IEA, 2023).

- Bei den Kathodenmaterialien dominieren derzeit zwei chemische Verbindungen: Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) und Lithium-Eisenphosphat (LFP). Darüber hinaus gibt es ebenso Batterien mit Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium (NCA).

Die zukünftige Nachfrage nach Rohstoffen wird sowohl von der Gesamtkapazität der benötigten Batterien als auch vom Verhältnis der verschiedenen Batterietechnologien beeinflusst werden. Durch die Verschiebung des Einsatzverhältnisses der verschiedenen Batterietypen ist bereits jetzt eine Substitution von Kobalt durch Nickel und andere Rohstoffe auf dem Markt zu beobachten. Da Kobalt als besonders kritischer Rohstoff bezogen auf seine Verfügbarkeit und seine Abbaubedingungen gilt, haben die Batteriehersteller kobaltärmere Batterietypen entwickelt. Folglich gibt es für NMC-Batterien unterschiedliche Anteilsverhältnisse der Rohstoffe Nickel, Mangan und Kobalt (z. B. Marscheider-Weidemann, 2021). Aktuell werden besonders NMC 622 (Verhältnis 6:2:2) und NMC 811 (Verhältnis 8:1:1) in Fahrzeugen verbaut (IEA, 2023). Dabei wird die spezifische Lithiummenge pro Batteriekapazität ebenfalls reduziert, während der Nickelanteil steigt.

Entwicklung der Rohstoffnachfrage für Elektrofahrzeuge in der EU

Abbildung 3



Quellen: EEA, 2024; IEA, 2024; Marscheider-Weidemann et al., 2024; Institut der deutschen Wirtschaft

Abbildung 3: <https://dl.iwkoeln.de/index.php/s/7BnGfkHBnqpZ3NZ>

Im Jahr 2023 machte die NMC-Batterietechnologie mit 60 Prozent den größten Marktanteil aus, während LFP-Batterien in der Bedeutung steigen und mit 30 Prozent inzwischen knapp ein Drittel des Marktes einnehmen. Auf NCA-Batterien entfallen 8 Prozent (IEA, 2023). Zudem fand im Zeitraum 2017 bis 2021 ein Rückgang des Marktanteils von NMC-Batterien mit niedrigem Nickelanteil (von etwa 25 Prozent auf 5 Prozent) und ein Anstieg des Marktanteils von NMC-Batterien mit hohem Nickelanteil (von etwa 55 Prozent auf 80 Prozent) statt (IEA, 2022). Durch die neueren Technologien wurde der starke Anstieg der Kobaltnachfrage somit in den letzten Jahren bereits gebremst. Trotz dieser Entwicklungen wird der Gesamtrohstoffbedarf für die kritischen Rohstoffe für Elektrofahrzeugbatterien in der EU in den nächsten Jahren und Dekaden aufgrund der rasanten Marktdurchdringung erheblich ansteigen (Abbildung 3).

Sammlung von Fahrzeugbatterien

Die Nachfrage in Europa nach Elektrofahrzeugen und somit auch nach Lithium-Ionen-Batterien für diese Fahrzeuge wird in den nächsten Jahren weiter steigen. Dies hängt mit der Marktdurchdringung der Fahrzeuge ebenso zusammen wie mit politischen Regularien, beispielsweise der Vorgabe, dass ab 2035 neu zugelassene Pkw in der EU nur noch CO₂-frei fahren dürfen. Der Anstieg der Batterienachfrage dürfte mit einer starken Nachfragesteigerung nach Premium-Fahrzeugen einhergehen und damit dürften auch die Batteriegrößen mit der Zeit anwachsen. Diese beiden Entwicklungen, sowohl in Deutschland als auch in Europa, implizieren ebenso einen Anstieg in der Menge der Altbatterien aus den ausrangierten Fahrzeugen. Unterschiedlichen Studien zufolge dürfte dies ab 2035 eine relevante Größenordnung erreichen. Demnach werden im Jahr 2040 weltweit knapp 6.000 Kilotonnen Altbatterien zur Verfügung stehen (Strategy&/RWTH Aachen, 2023). Das Fraunhofer ISI beziffert diese Menge im Jahr 2040 auf etwa 2.100 Kilotonnen für Europa (Schmaltz, 2023).

Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzbarkeit der Rohstoffe dieser Altbatterien für das Recycling und letztlich für den Wiedereinsatz in neuen Batterien ist eine effiziente Sammlung der Batterien am Ende ihres Lebenszyklus. Unter anderem der Export von Fahrzeugen und somit von den verbauten Rohstoffen ins Ausland stellt in diesem Zusammenhang eine Hürde bei der Umsetzung einer effizienten Recyclingwirtschaft dar. Werden die gleichen Anteile für Elektroautos angenommen wie bei heutigen

Verbrennern, so würden etwa 85 Prozent der Fahrzeuge aus Deutschland ins Ausland exportiert (Bähr et al., 2024). Mit den Fahrzeugen stünden entsprechend ebenso die enthaltenen Rohstoffe nicht mehr zur Weiternutzung in Deutschland zur Verfügung. Dies zeigt dringenden Handlungsbedarf auf, der bereits von der Europäischen Kommission erkannt wurde. So soll die Altfahrzeugverordnung ein Exportverbot für Altfahrzeuge vorsehen, die nicht mehr verkehrstauglich sind. Zusätzlich dazu sollen bereits geltende Regelungen konsequenter durchgesetzt werden und die Möglichkeit geschaffen werden, die Fahrzeuge innerhalb der EU digital zu verfolgen. Konkrete Vorgaben zu den Sammelquoten gibt die neue Batterieverordnung allerdings nur für Gerätebatterien und LV-Batterien, Batterien, die in leichten Verkehrsmitteln wie E-Fahrrädern und E-Rollern eingesetzt werden, und nicht für Traktionsbatterien, die in Elektroautos zum Einsatz kommen.

Die gut strukturierte und zuverlässige Sammlung von Batterien ist zudem Grundlage für eine effiziente Recyclingwirtschaft in Deutschland und Europa. Die aktuell geringen Stückzahlen der zurückkommenden Batterien, aber auch die kurzzyklischen Innovationen im Bereich der Batterietechnologien bremsen langfristige Investitionen in die Recyclinginfrastruktur. Die oben beschriebene Situation der Exporte von Elektrofahrzeugen, besonders in das außereuropäische Ausland, erschwert die Planbarkeit mit hohen Stückzahlen für (potenzielle) Recycler zusätzlich. Laut Bundesregierung ist das Finden einer passenden Lösung an dieser Stelle sowohl zeit- als auch kostenintensiv.

Recycling von Fahrzeugbatterien

Aktuell existieren drei grundsätzliche Recyclingverfahren für Batterien: die Pyrometallurgie, die Hydrometallurgie und das direkte Recycling. Diese Verfahren können zum Teil einzeln oder in Kombination angewendet werden. Bevor die tatsächlichen Recyclingverfahren jedoch zur Anwendung kommen, müssen die Batterien vorbereitet und vorbehandelt werden. Die große Vielfalt der auf dem Markt verfügbaren Batterien hinsichtlich der verbauten Komponenten impliziert eine komplexe Prozessgestaltung und Herausforderungen im Bereich der Automatisierung. Nicht für alle Batterien sind die gleichen Recyclingrouten optimal. Die Schritte zur Vorbereitung und Vorbehandlung sind zum Teil sehr zeitaufwendig und mit eigenen Herausforderungen verbunden.

Sie beinhalten beispielsweise das Entladen der Batterien, eine Demontage sowie eine thermische Vorbehandlung und eine mechanische Zerkleinerung.

Die aktuellen Recyclingtechnologien sind noch nicht in der Lage, alle Wertstoffe der Batterien wiederzugewinnen. Um diesbezüglich eine Verbesserung zu erzielen, sind unter anderem ebenso Schritte in der Designphase der Produkte notwendig, sodass im Sinne des Ökodesigns ein späteres Recycling der Batterien mitgedacht und mitgestaltet wird. Während pyro- und hydrometallurgische Recyclingverfahren aktuell im industriellen Maßstab umgesetzt werden, ist das Direkt-Recycling bisher nicht auf einen größeren Maßstab skaliert. Trotz der Vorteile des Verfahrens, verhindert der bislang niedrige Automatisierungsgrad der Elektrodentrennung und die geringe Wiedergewinnung von Elektrodenmaterialien einen industriellen Einsatz für Altbatterien aus Elektrofahrzeugen. Das wiedergewonnene Elektrodenmaterial kann potenziell direkt für die Produktion neuer Batterien verwendet werden. Da sich aber die Batterietechnologien stetig weiterentwickeln, ist das wiedergewonnene Material gegebenenfalls überholt und somit für den Einsatz in neue Batterien untauglich (Zheng et al., 2023).

Die Verfahren zum Recycling von Batterien sind energieintensiv und erfordern hohe Investitionen in die Produktionsanlagen. Diese Faktoren und die hohen laufenden Kosten im Betrieb erschweren den Ausbau von Recyclingkapazitäten in Deutschland. So identifiziert die Bundesregierung wettbewerbsfähige Energie- und Strompreise als wichtige Voraussetzung, um auf dem globalen Recyclingmarkt konkurrenzfähig zu agieren. Ziel muss es sein, dass die Umwelteffekte der Rezyklate deutlich niedriger sind als die entsprechenden Effekte bei einem Einsatz von Primärrohstoffen.

Insgesamt gibt es nur wenige quantitative Schätzungen zur Effizienz verschiedener Recyclingverfahren und zur Rückgewinnungsrate einzelner Materialien. Gründe hierfür sind uneinheitliche Definitionen und eine fehlende Transparenz der Berechnungsmethoden, besonders durch die unterschiedlichen Kombinationen der Recyclingverfahren und der so entstehenden Recyclingrouten. Die Forschung scheint einig in der Feststellung, dass das Direkt-Recycling das höchste Potenzial hinsichtlich der Menge an wiedergewonnenem Material bietet (Rallo et al., 2022). Laut einer Studie (Strategy&/RWTH Aachen, 2023) ist zu erwarten, dass der Recyclingmarkt ab 2030 vollständig

ausgelastet sein wird. Sie schätzen die notwendigen Investitionen auf mehr als 2,2 Milliarden Euro für eine Gesamtrecyclingkapazität von etwa 570 Kilotonnen pro Jahr und mit einer Recyclingkapazitätslücke ab dem Jahr 2030.

Schätzung und Erfüllung der Rezyklatgehalte

Es gibt unterschiedliche Studien dazu, wie Recyclingrohstoffe eingesetzt werden können und in welchem Umfang sie den Bedarf neuer Batterien decken können. Dunn et al. (2021) berechnen, dass global betrachtet im Jahr 2040 etwa 53 Prozent des Lithium-Bedarfs, 60 Prozent des Kobalt-Bedarfs, 53 Prozent des Nickel-Bedarfs und 57 Prozent des Mangan-Bedarfs durch das Recycling von Batterien gedeckt werden können. Bezogen auf Europa schätzt eine Studie von Strategy& und der RWTH Aachen, dass im Jahr 2035 bis zu 30 Prozent des Lithium-, Kobalt- und Nickel-Bedarfs in der Zellproduktion von Batterien durch Recycling bedient werden kann (Strategy&/RWTH Aachen, 2023). Bormann et al. (2023) prognostizieren, dass für die aktuell geplante europäische Batterieproduktion bis 2030 bereits 7 bis 10 Prozent des Lithium-Bedarfs, 13 bis 19 Prozent des Kobalt-Bedarfs, 8 bis 12 Prozent des Nickel-Bedarfs und 2 bis 5 Prozent des Mangan-Bedarfs mithilfe von Recycling gedeckt werden können. Sie sagen ebenso einen Anstieg dieser Anteile um jeweils etwa 5 Prozentpunkte bis zum Jahr 2035 voraus. Eine aktuelle Studie (Wesselkämper et al., 2024) berechnet sogenannte Break-even-Punkte, an denen eine vollständige Zirkularität erreicht wird und die sekundäre Versorgung die Nachfrage vollständig decken kann. Demnach wird in Europa für Lithium erst nach dem Jahr 2070, für Kobalt etwa im Jahr 2052 und für Nickel etwa im Jahr 2058 eine vollständige Zirkularität erreicht.

Ergänzend zu den genannten Studien, werden im Folgenden konkret die Vorgaben der Rezyklatgehalte aus der EU-Batterieverordnung geprüft und die Umsetzbarkeit anhand der aktuellen und prognostizierten Marktentwicklungen für Elektrofahrzeuge und -batterien in Europa bewertet. Für diese Berechnung wurde folgende Methodik angewendet, um die Fahrzeugneuzulassungen und die Bedarfe und Verfügbarkeiten von Rohstoffen zu ermitteln:

- Im ersten Schritt fand eine Auswertung des Datensatzes der Neuzulassungen aller Fahrzeuge in der EU der European Environment Agency (EEA, 2024) statt. Aus den

hier aufgelisteten Fahrzeugmodellen wurden alle batterieelektrischen Fahrzeuge (BEV) herausgefiltert und den Segmenten Klein, Mittel und Premium zugeordnet. Für die Kalibrierung dieser Werte wurden die Jahre 2020 bis 2022 genutzt.

- In einem zweiten Schritt wurden die in Schritt 1 ermittelten Fahrzeuganzahlen mit den Angaben aus weiteren Quellen (ACEA, 2024; IEA, 2024) abgeglichen. Außerdem wurden die Zahlen der Neuzulassungen für Plug-in-Fahrzeuge (PHEV) aus diesen beiden Quellen übernommen.
- Die Neuzulassungszahlen der Elektrofahrzeuge wurden auf Basis der Angaben in IEA (2024) aus der Projektion „Announced Policy Scenario“ bis zum Jahr 2035 fortgeschrieben. Für den Zeitraum 2035 bis 2045 wurde der abnehmende Trend der Wachstumsraten der Elektrofahrzeuge fortgeschrieben und auf die Entwicklung der Neuzulassungen angewendet.
- Die mit den Zulassungszahlen verbundene Batteriekapazität wurde aus EEA (2024) nach Fahrzeugsegmenten (Klein, Mittel, Premium) erhoben und auf die Entwicklung der Neuzulassungen angewendet. Dabei wurde konsistent zu vergleichbaren Studien eine Erhöhung der Batteriekapazität je Fahrzeug von 1 Prozent pro Jahr angenommen.
- Anschließend wurden für die drei Segmente (Klein, Mittel, Premium) die jeweiligen Marktanteile bestimmt und unterschiedlichen Zellchemien mit deren jeweiligen spezifischen Rohstoffbedarfen zugeordnet. Außerdem wurde basierend auf den Angaben in der Studie der Stiftung Klimaneutralität „Klimaneutrales Deutschland 2045“ die Mengenverteilung der verschiedenen Zellchemien auf die Fahrzeugsegmente festgelegt und die spezifischen Rohstoffbedarfe aus dieser Zuordnung ermittelt. Auf dieser Basis erfolgt eine Projektion der Mengenanteile der verschiedenen Zellchemien.
- Aus der Batteriekapazität je Fahrzeug, den projizierten Neuzulassungen und den Annahmen bezüglich der Zellchemie (Rohstoffbedarfe für Lithium, Kobalt und Nickel pro Gigawattstunde Batteriekapazität) wurde die Rohstoffnachfrage für Fahrzeugbatterien für jedes Jahr separat abgeleitet.
- Aus den Annahmen bezüglich der durchschnittlichen Lebensdauer der Batterien (zehn oder 14 Jahre), einer möglichen Second-Life-Verwendung (0, 10, 15 Prozent für zehn oder 14 Jahre), einer fixen Sammelquote (90 Prozent), den Recyclingquoten (nach EU-Batterieverordnung) und dem Rezyklateinsatz (nach EU-Batterieverord-

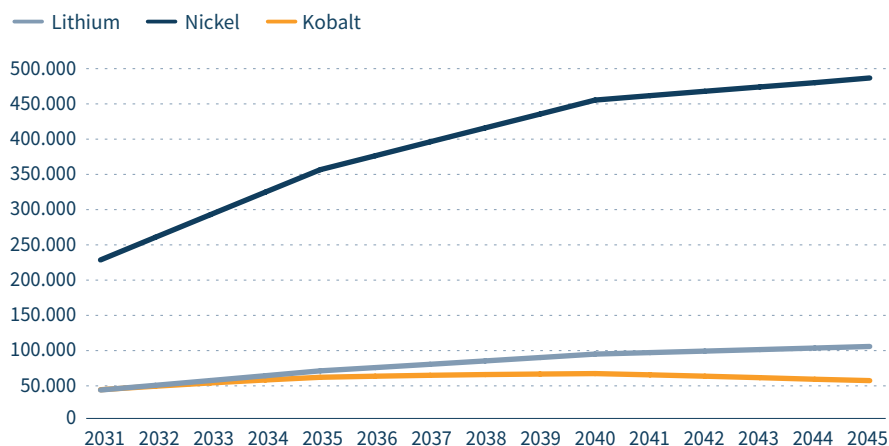
nung) wurde schließlich das jährliche Aufkommen von Recyclingmaterial geschätzt und auf die Rohstoffnachfrage bezogen. Für die Verteilung der Lebensdauer der Batterien rund um den Mittelwert wurde eine Weibull-Verteilung zugrunde gelegt. Eine Second-Life-Verwendung findet nach der Lebensdauer der Batterien im Fahrzeug statt und kann beispielsweise in Form von einem Einsatz als stationäre Speicher geschehen. Für die Berechnungen wurde insgesamt eine Betrachtung auf Jahresebene gewählt, die auf der Annahme beruht, dass Batterien bei einer Unterdeckung von Recyclingmaterial dennoch gebaut werden und dass bei einem Überschuss keine Lagerhaltung über mehrere Jahre stattfindet.

Auf Basis dieser Rahmenbedingungen zeigt Abbildung 4 die prognostizierte Rohstoffnachfrage nach Lithium, Kobalt und Nickel für neu zugelassene Elektrofahrzeuge in der EU im Zeitraum 2031 bis 2045. Es wird deutlich, dass vor allem die Nachfrage nach Nickel stark ansteigt. Dies liegt unter anderem an der Entwicklung hin zu kobaltärme-

Schätzung der Rohstoffnachfrage für Batterien in der EU

Abbildung 4

Rohstoffnachfrage für Batterien in neu zugelassenen Elektrofahrzeugen in Tonnen



Europa: EU-27, Schweiz, Norwegen und Island.

Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Abbildung 4: <https://dl.iwkoeln.de/index.php/s/LqHmnEySb4FodP>

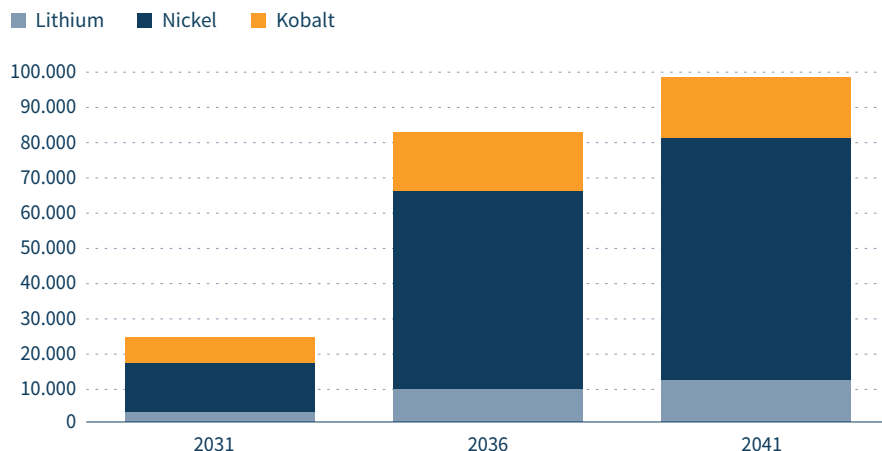
ren und stärker nickelhaltigen Batterien, die sich in den nächsten Jahren weiter fortsetzen wird. Auch die Nachfrage nach Lithium steigt an, wenn auch nicht so stark wie die von Nickel. Während der EU-weite Bedarf an Lithium im Jahr 2031 knapp 47.000 Tonnen beträgt, steigt die Menge auf über 108.000 Tonnen im Jahr 2045 an. Würde eine stärkere Entwicklung hin zu LFP-Batterien für die Zukunft angenommen, so würde die Lithium-Nachfrage stärker ansteigen als in Abbildung 4 dargestellt. Ein Robustheitstest zeigt, inwiefern die geschätzte Rohstoffnachfrage für Batterien von der genauen Prognose des Hochlaufs der Elektromobilität in der EU abhängt. Eine Fortschreibung der Neuzulassungszahlen der Elektrofahrzeuge auf Basis der Angaben in IEA (2024) aus der Projektion „Stated Policies Scenario“ anstelle der in Abbildung 4 gezeigten Projektion aus dem „Announced Policies Scenario“ resultiert in rund 5 Prozent geringerer Batteriekapazität im Jahr 2045. Dies lässt ebenso die nachgefragten Rohstoffmengen nach Rezyklaten für die Batterien um jeweils 5 Prozent niedriger ausfallen.

Aus der Rohstoffnachfrage in Batterien ergibt sich anhand der Rezyklateinsatzquoten aus der Batterieverordnung die Nachfrage nach recycelten Rohstoffen, die für die Herstellung neuer Fahrzeugbatterien benötigt werden, um die vorgegebenen Quoten zu erfüllen. Entsprechend der Batterieverordnung wird ein Blick auf die Jahre 2031, 2036 und 2041 geworfen. Abbildung 5 zeigt hierzu eine vergleichsweise hohe Nachfrage nach Nickel-Rezyklat verglichen mit den beiden anderen Rohstoffen Lithium und Kobalt. Diese Entwicklung liegt vor allem an dem bereits beschriebenen Wechsel bei NMC-Batterien zu weniger Kobalt- und mehr Nickelinhalt, der zu einem starken Anstieg des Nickelbedarfs aus recyceltem Nickel führt. Nickelrecycling ist bereits heute ein etabliertes Verfahren und Nickel ist im Vergleich zu Lithium und Kobalt ein etablierter und auch in anderen Bereichen viel verwendeter Rohstoff. Die Recycling-Input-Rate (Beitrag des Recyclings zur Materialnachfrage pro Materialart) von Nickel lag im Jahr 2020 bei 16 Prozent in der EU (RMIS, 2024). In Deutschland lag die Recyclingrate von Nickel aus Altprodukten im Jahr 2021 bei 70 Prozent (GDB, o. J.). Somit liegt die Vermutung nahe, dass der hier gezeigte Anstieg nicht zu einer zusätzlichen Knappheit führt, und die Batteriehersteller in Zukunft (relevante) Nachfrager am Markt für Recycling-Nickel werden können.

Entwicklung der Nachfrage nach Rohstoffen aus Recyclingmaterial für Batterien

Abbildung 5

Nachfrage nach Sekundärrohstoffen für Batterien für Elektrofahrzeuge bei Einhaltung der Rezyklateinsatzquoten der EU-Batterieverordnung und geschätzter Nachfrage nach Batterien in Tonnen



Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Abbildung 5: <https://dl.iwkoeln.de/index.php/s/MeQi796pPrJsM34>

Überprüfung der Umsetzbarkeit der EU-Batterieverordnung

Im Folgenden wird die prognostizierte Nachfrage nach Rezyklaten von Lithium, Nickel und Kobalt den zur Verfügung stehenden Mengen von Recyclingmaterialien für diese Rohstoffe gegenübergestellt. Damit soll die Umsetzbarkeit der Vorgaben aus der Batterieverordnung analysiert und bewertet werden. Da sowohl die durchschnittliche Lebensdauer der Batterien als auch eine mögliche Weiternutzung in Form einer Second-Life-Anwendung bislang nicht eindeutig prognostiziert werden kann, wurden diesbezüglich verschiedene Szenarien gerechnet, um ebenso den Einfluss dieser beiden Stellhebel zu analysieren.

Die Weiternutzung von Batterien am Ende ihres automobilen Lebens ist vor dem Hintergrund einer Kreislaufführung dem Recycling zu bevorzugen, da eine Weiternutzung des Produkts stattfindet und dessen Lebensdauer verlängert wird. Auch gemäß der Ab-

fallhierarchie aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz sind Maßnahmen zur Weiternutzung gegenüber dem Recycling zu priorisieren. Die rasante technologische Entwicklung auf dem Batteriemarkt, durch die effizientere und langlebigere Batterien entstehen, kann jedoch dazu führen, dass aktuelle Batterien nicht in einer Zweitnutzung verwendet werden. Zudem sind in der Praxis die Rohstoffpreise ausschlaggebend. Sie können es für Hersteller wirtschaftlich attraktiver machen, die Batterien direkt dem Recycling zuzuführen. Vorgaben zu Rezyklatgehalten, wie sie die neue EU-Batterieverordnung macht, tragen ebenfalls dazu bei, dass die Preise für Recyclingmaterialien steigen.

Die berechneten Differenzen zwischen der Nachfrage nach Rezyklaten (Rezyklateinsatz) für neue Fahrzeugbatterien und der verfügbaren Menge von Recyclingmaterialien aus alten Fahrzeugen (Rezyklataufkommen) sind in Abbildung 6 für die betrachteten Rohstoffe Lithium, Nickel und Kobalt dargestellt. Positive Werte deuten darauf hin, dass das berechnete Rezyklataufkommen aus den Fahrzeugbatterien die vorgeschriebenen Mengen, die für den Rezyklateinsatz in neue Fahrzeugbatterien notwendig sind, übersteigt. In diesen Fällen ist also ausreichend Recyclingmaterial vorhanden, um die Bedarfe gemäß der Batterieverordnung zu erfüllen. Negative Werte hingegen bedeuten, dass das berechnete Rezyklataufkommen aus den Fahrzeugbatterien die vorgeschriebenen Mengen, die für den Rezyklateinsatz in neue Fahrzeugbatterien notwendig sind, unterschreitet. Es ist somit nicht ausreichend Recyclingmaterial vorhanden, um die Bedarfe gemäß der Batterieverordnung zu erfüllen.

In Abbildung 6 sind zudem vier Szenarien dargestellt:

- **Szenario 1:** Die durchschnittliche Lebensdauer von Fahrzeugbatterien beträgt zehn Jahre und es findet keine Weiternutzung in Form einer Second-Life-Anwendung statt. Die alten Fahrzeugbatterien können also direkt nach dem Einsatz im Fahrzeug recycelt werden.
- **Szenario 2:** Die durchschnittliche Lebensdauer von Fahrzeugbatterien beträgt zehn Jahre und 10 Prozent der alten Fahrzeugbatterien werden in Form einer Second-Life-Anwendung für weitere zehn Jahre genutzt, bevor sie anschließend recycelt werden können.

- **Szenario 3:** Die durchschnittliche Lebensdauer von Fahrzeugbatterien beträgt 14 Jahre und es findet keine Weiternutzung in Form einer Second-Life-Anwendung statt. Die alten Fahrzeugbatterien können also direkt nach dem Einsatz im Fahrzeug recycelt werden.
- **Szenario 4:** Die durchschnittliche Lebensdauer von Fahrzeugbatterien beträgt 14 Jahre und 15 Prozent der alten Fahrzeugbatterien werden in Form einer Second-Life-Anwendung für weitere 14 Jahre genutzt, bevor sie anschließend recycelt werden können.

In den Szenarien 1 und 2 ist für alle drei betrachteten Rohstoffe kein Mangel an Recyclingmaterial zu erwarten. Die Vorgaben aus der EU-Batterieverordnung für die Jahre 2031 und 2036 können somit voraussichtlich gedeckt werden. Nickel wird voraussichtlich auch in Szenario 3 nicht knapp. In Szenario 4 zeichnet sich eine minimale Unterdeckung im Jahr 2031 ab. Insgesamt können hier die Vorgaben erfüllt werden. Anders sieht es bei Lithium und Kobalt aus. Lithium wird bei einer längeren Lebensdauer der Batterien zumindest im Jahr 2031 knapp. Kombiniert mit Second-Life-Anwendungen verschärft sich diese Knappheit. Zusätzlich könnte eine stärkere Hinwendung zu LFP-Batterien zu einer weiteren Verknappung von Recycling-Lithium führen. Für Kobalt können die vorgeschriebenen Rezyklateinsatzquoten bei einer Batteriebensdauer von 14 Jahren voraussichtlich nicht eingehalten werden.

Für diesen Rohstoff wird die Unterdeckung im Jahr 2036 aber kleiner im Vergleich mit dem Jahr 2031. Der Unterschied zwischen Kobalt und den anderen Sekundärrohstoffen spiegelt verschiedene Phänomene wider: Einerseits sind die vorgegebenen Rezyklatgehalte bei Kobalt die höchsten unter den betrachteten Rohstoffen, andererseits verbleiben bei Annahme einer längeren Lebensdauer die besonders kobalthaltigen Batterien länger in Nutzung.

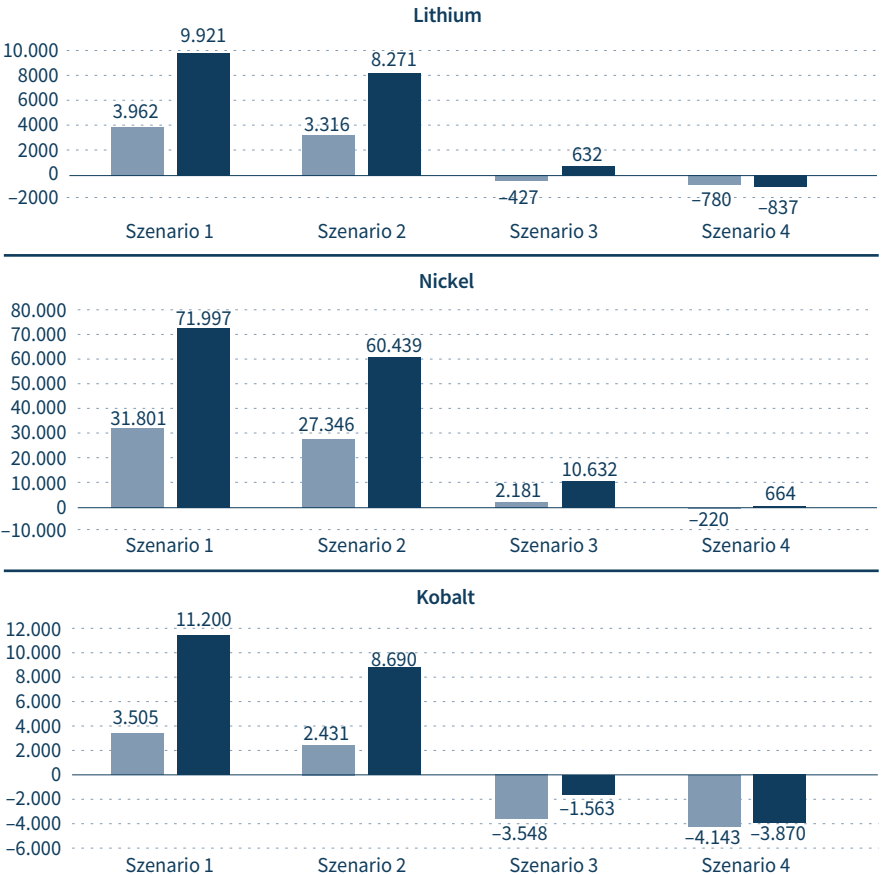
Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse dieser Analyse, dass die Erreichung der Rezyklateinsatzquoten aus der EU-Batterieverordnung sehr ambitioniert, aber zumindest für Lithium und Nickel als erreichbar erscheinen. Für Kobalt ist die Erreichung hingegen kritischer einzustufen. Wichtig ist die Erwähnung, dass in der hier vorgenommenen Berechnung keine Preiseffekte oder Marktreaktionen betrachtet wurden. Konkret bedeutet das, dass die theoretisch verfügbare Menge der Rohstoffe für ein potenzielles

Vergleich von Rezyklataufkommen und Rezyklateinsatz
für Fahrzeugbatterien

Abbildung 6

Differenz zwischen rechnerischem Rezyklataufkommen aus Fahrzeugbatterien und von der EU-Batterieverordnung vorgeschriebenem Rezyklateinsatz für Fahrzeugbatterien in Tonnen

■ 2031 ■ 2036



Annahmen: Sammelquote von 90 Prozent; Recyclingquote und Rezyklateinsatzquote nach Vorgaben der EU-Batterieverordnung. Szenario 1: Durchschnittliche Lebensdauer zehn Jahre und keine Second-Life-Nutzung. Szenario 2: Durchschnittliche Lebensdauer zehn Jahre und 10 Prozent Second-Life-Nutzung für zehn Jahre. Szenario 3: Durchschnittliche Lebensdauer 14 Jahre und keine Second-Life-Nutzung. Szenario 4: durchschnittliche Lebensdauer 14 Jahre und 15 Prozent Second-Life-Nutzung für 14 Jahre.
Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Abbildung 6: <https://dl.iwkoeln.de/index.php/s/LzEAoqn5yH4T9dP>

Recycling abhängig ist von der Anzahl und Größe der herzustellenden Batterien und von den Zellchemien, die produziert werden. Eine Veränderung der Rohstoffpreise oder eine Verschiebung der Nachfrage zu anderen Batterietypen kann einen externen Einfluss auf die Batterien haben, die gebaut werden und somit auf die Nachfrage nach Recyclingmaterialien. Unter Umständen könnte dies sogar als Reaktion auf die vorhandenen Recyclingmengen stattfinden, sodass hier eine gegenseitige Abhängigkeit besteht, die durch die Rohstoffpreise abgebildet wird. Zudem sind die Ergebnisse abhängig vom tatsächlichen Hochlaufprofil der Elektrofahrzeuge. So würden beispielsweise durch einen langsameren Hochlauf die berechneten Knappheiten der Rezyklate geringer ausfallen. Geht man jedoch nur bis zum Jahr 2035 von einem niedrigeren Wachstumspfad aus, der ab diesem Zeitpunkt wieder ansteigt, vergrößert sich die Rezyklatknappheit beziehungsweise der Überschuss an Rezyklaten verringert sich ab 2036, da die Batterien erst später recycelt werden, die hohen Vorgaben aber dennoch erfüllt werden müssen.

Fazit

Insgesamt ist die zukünftige Nachfrage nach Nickel-Rezyklat für Elektrofahrzeugbatterien verglichen mit den beiden anderen Rohstoffen, Lithium und Kobalt, sehr hoch. Begründet ist diese Erwartung durch den Wechsel bei NMC-Batterien zu weniger Kobalt- und mehr Nickelinhalt. Dies führt zu einem starken Anstieg des Nickelbedarfs – ab 2031 dann zunehmend auch aus recyceltem Nickel. Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse, dass die Rezyklateinsatzquoten aus der EU-Batterieverordnung sehr ambitioniert formuliert sind. Für Lithium und Nickel erscheinen sie je nach Marktentwicklung und technologischer Entwicklung der Batterien dennoch erreichbar. Bei Lithium könnten jedoch für gewisse Zeiträume Engpässe auftreten. Für Kobalt hingegen wird die Einhaltung der Quoten aufgrund des limitiert zur Verfügung stehenden Recyclingmaterials voraussichtlich schwierig zu erreichen sein. Besonders eine längere Batterielebensdauer und eine Weiternutzung der Fahrzeugbatterien in Second-Life-Anwendungen können die Knappheit von Lithium und Kobalt erhöhen.

Die prognostizierte Knappheit von Kobalt-Rezyklat in manchen Szenarien kann neben möglichen Preiseffekten und Marktreaktionen ein weiterer Faktor sein, der einen Wandel hin zu kobaltärmeren Batterien bewirkt. Abhängig von der Marktlage

und den technologischen Entwicklungen kann dieser Wandel hin zu LFP-Batterien gehen oder zu NMC-Batterien mit einem noch höheren Nickelanteil. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Automobilproduktion und nimmt an, dass das zur Verfügung stehende Recyclingmaterial für neue Fahrzeugbatterien aus alten Fahrzeugbatterien am Ende ihres Lebenszyklus stammen. Um Knappheiten zu überwinden, gäbe es die theoretische Möglichkeit, andere Altprodukte zu nutzen, um Recycling-Rohstoffe zu erhalten. Während dies für Nickel eine denkbare Möglichkeit zu sein scheint, ist jedoch die Verfügbarkeit von Lithium und Kobalt auch in anderen Produkten relativ gering. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass Fahrzeugbatterien nicht die einzige Anwendung von Batterien sind, für die die Rezyklateinsatzquoten aus der EU-Batterieverordnung gelten. Es muss entsprechend mit zusätzlicher Nachfrage nach Recycling-Rohstoffen aus anderen Bereichen, zum Beispiel für die Herstellung von stationären Energiespeichern, gerechnet werden.

Die EU-Batterieverordnung bietet das Potenzial, schonender mit den wertvollen Ressourcen für die Batterieherstellung umzugehen. Das Recycling ist dazu ein wichtiger Stellhebel, den es zu nutzen gilt, um Rohstoffe nicht nur einmal zu verwenden. Zudem stellt die Ausweitung des Recyclings ein zentrales Element im European Critical Raw Material Act zur Verringerung der Versorgungsrisiken bei Rohstoffen in Europa. Dies gilt gerade für die Batterierohstoffe Lithium, Kobalt und Nickel, die innerhalb der EU bislang nicht in nennenswertem Umfang abgebaut werden. Recyclingmaterialien für Batterien sind unter anderem wegen der aktuell in Europa geringen Verfügbarkeiten und den noch in der Entwicklung stehenden Recyclingprozessen noch nicht wettbewerbsfähig, weshalb die Batterieverordnung hier einen wichtigen Ansatz bietet. Eine Grundvoraussetzung dafür ist eine effiziente Sammlung der Batterien am Ende ihres Lebenszyklus. Hierzu muss der Export von Fahrzeugen und deren Rohstoffen ins Ausland reduziert werden, um die Ressourcen in Europa halten zu können. Das Recycling ist jedoch nur eine von vielen Strategien, um eine Kreislaufführung von Batterien umzusetzen. Bislang werden die weiteren Potenziale einer Kreislaufwirtschaft für Batterien noch nicht genutzt. Vor allem am Anfang der Wertschöpfungskette muss die Kreislaufwirtschaft bereits mitgedacht werden, sodass das Produktdesign beispielsweise eine effiziente Kreislaufführung erlaubt.

Zudem müssen einheitliche Standards und Strukturen entwickelt werden, die die Weiterentwicklung von zirkulären Maßnahmen in Unternehmen fördern. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft sollte hier besonders die Option des Second Life für Elektrofahrzeugbatterien weiterentwickelt werden. Auch wenn durch die Weiternutzung der Fahrzeugbatterien der Druck auf die Rezyklatmengen weiter steigt, muss diese Option im Sinne der Ressourceneffizienz verfolgt werden. Aktuell wird sie jedoch durch fehlende Transparenz über die Leistungsfähigkeit der gebrauchten Batterien verhindert. Diese wichtigen Informationen sind bislang nicht standardisiert verfügbar, was durch den digitalen Batteriepass angegangen werden soll. Auch dieser ist bereits in der EU-Batterieverordnung vorgesehen. Hier gilt es, eine möglichst zeitnahe, effiziente und flächendeckende Lösung für alle Stakeholder zu finden.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsprojekts "SCI4climate.NRW", das durch das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE) gefördert wird. Wir danken für die Unterstützung und die zur Verfügung gestellten Ressourcen. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt allein bei den Autoren.

Literatur

ACEA, 2024, NEW CAR REGISTRATIONS, EUROPEAN UNION. EMBARGOED PRESS RELEASE, https://www.acea.auto/files/Press_release_car_registrations_full_year_2023.pdf [8.7.2024]

Bähr, Cornelius / Kempermann, Hanno / Kuttler, Felicitas / Brauckhoff, Emma, 2024, Begleitforschung des Expertenkreises Transformation der Automobilwirtschaft zum Thema Resilienz der automobilen Wertschöpfungs- und Liefernetzwerke Thema „Innovationen“. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Köln

Borrmann, Daniel et al., 2023, Wertstoffkreislauf von Traktionsbatterien aus Europa, in: Cluster Elektromobilität Süd-West c/o e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg (Hrsg.), https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster_ESW_Themenpapier_Kreislaufwirtschaft.pdf [18.7.2024]

Dunn, Jessica et al., 2021, Circularity of Lithium-Ion Battery Materials in Electric Vehicles, in: Environmental Science & Technology, 55. Jg., Nr. 8, S. 5189–5198

EEA – European Environment Agency, 2024, CO2 emissions from new passenger cars. Datasets, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/co2-performance-of-new-passenger?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2b> [8.7.2024]

EU – Europäische Union, 2023, VERORDNUNG (EU) 2023/1542 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG

Fluchs, Sarah, 2021, Batterierecycling: Potenziale zur Reduzierung der Rohstoffabhängigkeit, IW-Kurzbericht, Nr. 35, Köln

GDB – Gesamtverband der Deutschen Buntmetallindustrie e.V., o. J., Berlin, <https://www.gdb-online.org/buntmetalle/nickel/> [18.7.2024]

IEA – International Energy Agency, 2022, Global EV Outlook 2022, Paris

IEA, 2023, Global EV Outlook 2023, Paris

IEA, 2024, Global EV Outlook 2024, Paris

Marscheider-Weidemann, Frank, 2021, Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. Auftragsstudie, Berlin

Rallo, Hector / Sánchez, Anna / Canals, Lluç / Amante, Beatrix, 2022, Battery dismantling centre in Europe: A centralized vs decentralized analysis, in: Resources, Conservation & Recycling Advances, 15. Jg., S. 200087

RMIS – Europäische Union (Hrsg.), 2024, Raw Materials Profiles – Nickel, <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Nickel> [18.7.2024]

Schmaltz, Thomas, 2023, Recycling von Lithium-Ionen-Batterien wird in Europa stark zunehmen, <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/themen/batterie-update/recycling-lithium-ionen-batterien-europa-starke-zunahme-2030-2040.html> [16.7.2024]

Strategy& / RWTH Aachen, 2023, EU recycling market. The EU recycling market – a viable and sustainable business. Joint study between Strategy& and PEM of RWTH Aachen University, <https://www.pem.rwth-aachen.de/cms/pem/der-lehrstuhl/presse-medien/aktuelle-meldungen/~b-cztzr/studie-zu-batterie-recycling-in-der-eu-/?lidx=1> [16.7.2024]

Wesselskämper, Jannis et al., 2024, A battery value chain independent of primary raw materials: Towards circularity in China, Europe and the US, in: Resources, Conservation and Recycling, 201. Jg., Februar, 107218

Zheng, Panni et al., 2023, Powering battery sustainability: a review of the recent progress and evolving challenges in recycling lithium-ion batteries, in: Frontiers in Sustainable Resource Management, 2. Jg., April, S. 1–19

What Scope does Europe have to Produce New Batteries from Recycled Materials?

Electric mobility is a key element in the decarbonisation of the transport sector and thus an important contribution to the energy transformation and climate protection. At the heart of all electric vehicles is the battery, and as the market share of such vehicles increases, so does the demand for raw materials for the manufacture of batteries. To ensure maximum sustainability in battery production, the 2023 EU Battery Regulation lays down specific levels of recyclate content and recycling efficiency for each material separately. The present article examines the likely availability of the requisite recyclate. The authors predict that for nickel sufficient recycling material will be available to meet the requirements of EU law. With lithium and especially cobalt, on the other hand, bottlenecks might occur, as longer battery life and the continued use of vehicle batteries in second-life applications could increase the scarcity of both raw materials. Overall, the rates of recyclate use set out in the EU Battery Regulation appear very ambitious. While the targets for lithium and nickel can be considered achievable, the outlook for cobalt is less positive. For the quotas to be met it is essential that batteries can be efficiently collected at the end of their life cycle. Moreover, in addition to measures taken at the beginning of their value chain, it is important to continue exploring the possibility of a second life for electric vehicle batteries, thus making them part of a circular economy. Although prolonging the life of vehicle batteries with a second usage reduces the amount of recyclable material available for the manufacture of new batteries, the need for resource efficiency dictates the best possible use of both products and their components.