Für Mensch und Umwelt

Umwelt Bundesamt

1. Dezember 2025

AutoRess Factsheet 8: Rezyklatanteil in Batteriematerialien: Vor dem Hintergrund der EU-Batterieverordnung und dem Übergang hin zur Elektromobilität

Ergebnisse aus dem Projekt „Ressourcenschonende und kreislaufwirtschaftsfähige Kraftfahrzeuge“ (AutoRess) – FKZ 3722 57 101 0

Die neue **EU-Batterieverordnung** ((EU) 2023/1542) legt wichtige regulatorische Anforderungen für den gesamten Lebenszyklus von Batterien fest, von der Herstellung bis zur Entsorgung. Neben Anforderungen an die Recyclingeffizienz (Art. 71, Anhang 12) werden auch explizite Anforderungen an den Sekundäranteil in ausgewählten Batterierohstoffen gestellt (Art. 8). Das AutoRess-Projekt ermöglicht die Bewertung und Quantifizierung der festgelegten Ziele für den Rezyklatanteil in Batteriematerialien der EU-Batterieverordnung unter Verwendung des für den deutschen Fahrzeugbestand entwickelten AutoRess-Modells in der Zukunft.

Ausführliche Informationen zum AutoRess-Modell und zu den Analysen des Rezyklatanteils von Batteriematerialien befinden sich im Abschlussbericht in den Kapiteln 3.1 und 3.8.

Wichtige Ergebnisse

Überprüfung der EU-Ziele für Rezyklatanteile in Batteriematerialien im AutoRess-Modell

- **Recyclingmaterial in Neufahrzeugen ausschließlich aus dem europäischen Fahrzeugbestand:** Die Basislinie geht von einem offenen Recyclingkreislauf aus, um die EU-Ziele zu erreichen. Wenn nur Recyclingmaterial aus europäischen Fahrzeugen verwendet werden soll (geschlossener Kreislauf), können die EU-Ziele für 2031 aufgrund der verzögerten Materialrückführung aus dem Recycling von verschrotteten Elektrofahrzeugen bis 2030 nicht vollständig erreicht werden. Bis 2040 könnten die Ziele aufgrund eines größeren Volumens an recycelten Elektrofahrzeugen übertroffen werden. Beispiel: Lithium kann bis 2030 3 % erreichen (Ziel: 6 %), bis 2040 20 % (Ziel: 12 %).
- **Szenario 1 – Geringerer Anteil an hochwertigen Rezyklat aus Altfahrzeugen:** Obwohl die EU-Ziele für die Recyclingeffizienz sehr hoch sind (2030: Lithium 80 %; Nickel/Kobalt 90 %), bedeutet dies nicht automatisch, dass auch hochwertige Materialien in ausreichender Menge für die Zellherstellung zur Verfügung stehen. Ein geringerer Anteil an hochwertigen Recyclingprodukten (-50 %) würde bis 2045 zu einem deutlich höheren Bedarf an Primärmaterialien führen.
- **Szenario 2 – Verbessertes Graphitrecycling:** Graphit als Material wird in der EU-Batterieverordnung nicht speziell behandelt, hat jedoch einen erheblichen Anteil an der Massenbilanz einer Batterie. Im herkömmlichen Recyclingverfahren wird Graphit in der Regel verbrannt, was zu direkten Kohlenstoffemissionen führt. Mit einer Recyclingeffizienz von 90 % bis 2045 könnte Primärgraphit eingespart werden, aber der Sekundäranteil würde 2045 immer noch unter 30 % liegen.

Wichtigste Herausforderungen und politische Empfehlungen



Die Verwendung von recycelten Materialien reduziert den Bedarf an Primärrohstoffen und erfordert in der Regel weniger Energie, wodurch die Treibhausgasemissionen gesenkt werden, obwohl das Recycling immer noch Energie verbraucht und Treibhausgasemissionen verursachen kann. Die Wirksamkeit variiert je nach Sektor und hängt von der Materialkonzentration ab, da geringe Konzentrationen in Altprodukten die Rückgewinnung erschweren. Bei Batterien sind technologisch strategische Materialien auf Zellebene wie Lithium, Nickel und Kobalt eine entscheidende Quelle für Treibhausgasemissionen. Um die steigende Nachfrage nach mobilen und stationären Batterien zu decken, muss die weltweite Produktion erheblich gesteigert werden. Derzeit stützt sich die Produktion hauptsächlich auf Primärquellen, da hohe Qualitätsstandards und begrenzte Sekundärquellen das Recycling einschränken. Mit der wachsenden Zahl von Elektrofahrzeugen können recycelte Batterien jedoch zunehmend wichtige Sekundärrohstoffe liefern.

Die EU-Batterieverordnung legt Ziele für den Rezyklatanteil in Batteriematerialien für 2031 und 2036 fest. Das AutoRess-Projekt analysiert die Massenströme von recyceltem Material aus europäischen Autos und wie viel davon zum Recyclinganteil in der deutschen Elektrofahrzeugflotte beitragen kann. Die Analyse zeigt, dass die ehrgeizigen Ziele der EU bis 2035 nicht allein mit recycelten Materialien aus europäischen Altfahrzeugen erreicht werden können, sondern dass Recyclingmaterial aus anderen Sektoren benötigt wird. Nach 2035 gelangen größere Mengen ausrangierter Elektrofahrzeuge in das Recyclingsystem, sodass ausreichend Recyclingmaterial aus Elektrofahrzeugen bereitgestellt werden kann, um die EU-Ziele zu erreichen.

Das europäische Recyclingsystem sollte sich auf die rasche Ausweitung effizienter und hochwertiger Recyclingprozesse konzentrieren, um einen Mangel an Recyclingmaterial für Batterieprodukte, insbesondere für Lithium und Graphit, zu verhindern. Im Falle von Lithium gibt es nicht viele andere Sektoren, in denen recyceltes Lithium bereitgestellt werden kann, und es fehlen noch industrielle Kapazitäten für ein effizientes Lithiumrecycling. Im Falle von Graphit ist die Entwicklung eines effizienten Recyclingsystems noch weiter von einem industriellen Maßstab entfernt. Es wird außerdem noch diskutiert, ob die Qualität des recycelten Graphits dem Niveau der Batteriequalität entsprechen muss. Derzeit gibt es keine EU-Ziele für den Rezyklatanteil in Graphit. Da das Material einen großen Teil der Batteriemasse insgesamt ausmacht, ist es für die Gesamtziele der Recyclingeffizienz relevant und sollte in den Recyclingprozessen berücksichtigt werden.



Überbrückung der langen Übergangsphase, bis größere Mengen an Elektroautobatterien die Recyclingphase erreichen: Eine lange Batterielebensdauer ist aus ökologischer Sicht vorzuziehen, auch wenn dadurch die Verfügbarkeit von Rezyklaten auf dem Markt verzögert wird. Um in den nächsten 10 bis 15 Jahren recyceltes Material für die Batterieherstellung bereitzustellen, müssen andere Quellen für Rezyklate im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit bewertet werden. Gleichzeitig sollten die Vorbereitungen für höhere Recyclingkapazitäten für wachsende Mengen an Altbatterien in Europa nicht vernachlässigt werden.

Zertifikate für recycelte Materialien: Der internationale Handel mit Sekundärrohstoffen oder Zwischenprodukten erschwert die Rückverfolgbarkeit und erhöht das Betrugsrisiko.

Rohstoffabhängigkeiten: Während einige OEMs in den Zugang zu Rohstoffen und Recycling investieren, sind die meisten Rohstoffe noch nicht durch langfristige Verträge gesichert. Die Lieferketten für strategische Batteriematerialien werden von asiatischen Unternehmen dominiert. Der Aufbau einer europäischen Recyclingindustrie verringert diese Rohstoffabhängigkeiten.

Dynamische Entwicklung der Batterietechnologien: In den letzten Jahren hat sich die Batterietechnologie rasant weiterentwickelt. Neben der Verbesserung der Leistung werden auch andere Materialzusammensetzungen (z. B. Natrium-basierte Batterien) erforscht oder sind bereits auf dem Markt erhältlich. In diesem dynamischen Sektor ist eine regelmäßige Überprüfung der Recyclingziele unter Berücksichtigung der Markttrends erforderlich.

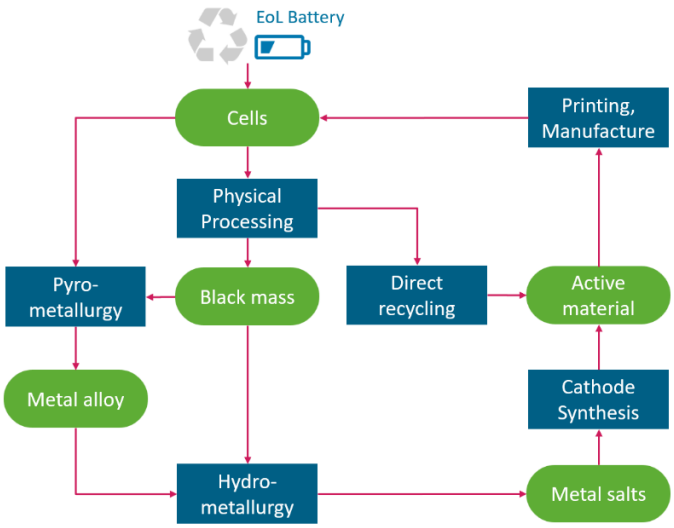
Exportierte Gebrauchtfahrzeuge: Sobald Elektrofahrzeuge die EU verlassen, wird das Recycling weniger nachvollziehbar. Der Batteriepass liefert den Recyclingbetrieben wichtige Informationen über das Produkt. Um jedoch effiziente Recyclingprozesse zu gewährleisten, sollten die europäischen Interessengruppen Investitionen in Sammelsysteme oder sogar Recyclingbetriebe in den wichtigsten Zielländern für Gebrauchtfahrzeuge außerhalb der EU in Betracht ziehen.

Batterierecyclingprozesse und Marktentwicklung

Effiziente Recyclingsysteme reduzieren die Umweltbelastung, verringern die Abhängigkeit von Importen und unterstützen den Übergang der EU zu einer Kreislaufwirtschaft. Die wichtigsten Prozessschritte, die derzeit beim Batterierecycling zum Einsatz kommen, lassen sich in drei Grundtypen zusammenfassen: Pyrometallurgie, Hydrometallurgie und direktes Recycling (physikalische/mechanische Verfahren). Wie im Flussdiagramm dargestellt, wird überwiegend eine Kombination verschiedener Prozessschritte angewendet.

Bislang befinden sich die meisten Recyclingkapazitäten für Lithium-batterien in Ostasien, insbesondere in China. Derzeit werden auch in Europa

Flussdiagramm der Batterie-Recyclingrouten



Quelle: Angepasst aus Sommerville et al. (2021)[2]

entsprechende Kapazitäten für das Recycling von Lithiumbatterien aufgebaut. Stephan (2025)[1] schätzt die installierte Recyclingkapazität für Lithium-Ionen-Batterien (Vorbehandlung bis zur Produktion von Schwarzmasse) in Europa bis 2026 auf mehr als 400.000 Tonnen pro Jahr, was das prognostizierte Rücklaufvolumen einschließlich des gesamten Fahrzeug-Altbatterien übersteigt.

Verfügbarkeit von Rezyklat aus Fahrzeug-Altbatterien im Verhältnis zu den Zielen der EU-Batterieverordnung

Die EU-Batterieverordnung selbst schreibt nicht vor, dass das Rezyklat aus dem Batterierecycling stammen muss. Daher kann Rezyklat auch aus anderen Sektoren bezogen werden. Das Ziel der Modellanalysen in AutoRess war die Bewertung, inwieweit die EU-Anforderungen an den Rezyklatanteil in Batteriematerialien erreicht werden können, wenn nur ein geschlossener Recyclingkreislauf innerhalb des Automobilsektors in der Europäischen Union betrachtet wird.

Rezyklatanteil in Batteriematerialien für den deutschen Pkw-Markt mit Herkunft aus einem geschlossenen Recyclingprozess (closed-loop)

Material	2025	2030	2035	2040	2045
Lithium	0%	3% (6%, 2031)	7% (12%, 2036)	20%	33%
Nickel	1%	4% (6%, 2031)	9% (15%, 2036)	23%	40%
Kobalt	1%	7% (16%, 2031)	15% (26%, 2036)	32%	46%
Graphit	0%	0%	0%	1%	2%

Quelle: Ergebnisse Basisszenario, AutoRess Model 2025. Zahlen in Klammern aus EU-Batterieverordnung, Art. 8.

Die Tabelle mit den Baseline-Ergebnissen aus AutoRess zeigt, dass die EU-Anforderungen für Batteriematerialien bis 2031 nicht erfüllt werden, wenn nur ein geschlossenes Recycling angenommen wird. Im Fall von Lithium (3 %) liegt der von der EU-Batterieverordnung geforderte Prozentsatz bei 6 %. Auch die Zahlen für Nickel und Kobalt im Jahr 2030 liegen deutlich unter den Zielen für 2031. Die EU-Ziele für 2031 werden erst 2035 erreicht, aber die höheren Ziele, die ab 2036 gelten, werden noch deutlich verfehlt. Um die EU-Ziele für 2036 zu erreichen, müssen mindestens zwei Drittel des Recyclingmaterials aus anderen Sektoren stammen. Im Jahr 2040, wenn eine erhebliche Anzahl von Elektrofahrzeugen in das Recycling gelangt, werden die Ziele für den Recyclinganteil jedoch allein durch europäische (Alt-) Elektrofahrzeuge mehr als erfüllt (Li: 20 %, Ni: 23 %, Co: 32 %).

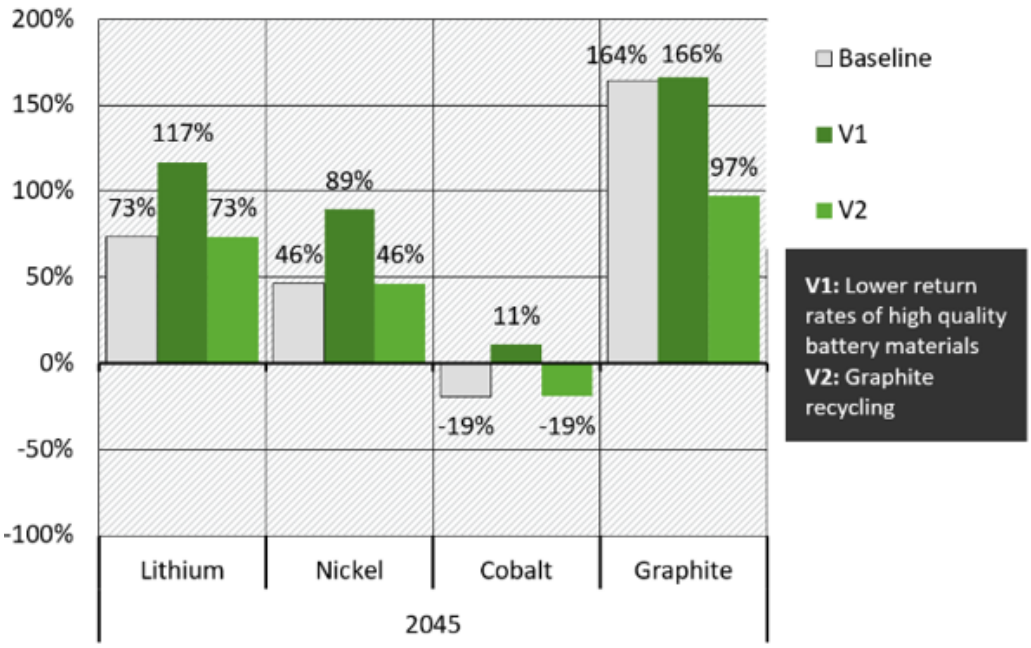
Zwei weitere Varianten werden zusätzlich in AutoRess analysiert: (1) Eine geringere Rücklaufquote von hochwertigem Batteriematerial und (2) ein gefördertes Graphitrecycling. Das Balkendiagramm veranschaulicht die Veränderungen im Primärmaterialbedarf für

[1] Stephan, M. (2025): Recycling capacities for lithium-ion batteries will exceed demand in Europe for the time being. Fraunhofer ISI. https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/batterie-recycling_europa_kapazitaeten_bedarf_update_2025.html (12.09.2025).

[2] Sommerville, R.; Zhu, P.; Rajaeifar, M. A.; Heidrich, O.; Goodship, V.; Kendrick, E. (2021): A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. In: Resources, Conservation and Recycling. Bd. 165. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105219.

Elektrofahrzeugbatterien in den beiden Varianten im Jahr 2045 im Vergleich zum Basisszenario von 2025. Die Auswirkungen einer verringerten Rücklaufquote von hochwertigem Material (- 50 %) sind im Jahr 2045 erheblich, da Rezyklat aus einem geschlossenen Recyclingkreislauf die EU-Ziele deutlich übertrifft. Wenn Sekundärmaterial aus anderen Sektoren nicht beschafft werden kann, wird der Mangel an recyceltem Material aus europäischen Elektrofahrzeugbatterien die Nachfrage nach Primärmaterialien erhöhen (Lithium um 44 Prozentpunkte, Nickel um 43 Prozentpunkte und Kobalt um 30 Prozentpunkte). Das Recycling von Graphit führt zu einem deutlichen Rückgang der Nachfrage nach Primärgraphit, mit einer Verringerung um 67 Prozentpunkte im Vergleich zum Basisszenario, in dem kein Graphitrecycling angenommen wird.

Veränderung des Primärmaterialbedarfs für Fahrzeuge im Jahr 2045 im Vergleich zu 2025



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt.de

Redaktion

UBA-Fachreferenten
Fachgebiet I 2.2 Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr
Martin Kortschack
Fachgebiet III 1.2 Produktverantwortung – Elektrogeräte, Fahrzeuge und Batterien
Regina Kohlmeyer

DOI

https://doi.org/10.60810/openumwelt-8448

Fertigstellung: 12/2025

Autoren, Institution

Claudia Kämper, Frank Dünnebeil, Kirsten Biemann, Birte Ewers, Sonja Limberger, Monika Dittrich and Florian Petri

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Heidelberg

Die Veröffentlichung basiert auf dem AutoRess-Abschlussbericht. Alle AutoRess-Dokumente sind veröffentlicht unter http://umweltbundesamt.de/themen/verkehr/

Projektpartner: Öko-Institut, ifeu gGmbH, Mehlhart Consulting, team ewen GbR

Projekt Langtitel: Ressourcenschonende und kreislaufwirtschaftsfähige Kraftfahrzeuge: Instrumente und Maßnahmen zur Reduktion des Rohstoffbedarfs im Verkehrssektor durch zirkuläre Ökonomie parallel zu einer Energiewende im Verkehr (AutoRess) - FKZ 3722 57 101 0