

Jenseits des Rohstoffabbaus

Strategien für eine 1,5-Grad-konforme Energiewende
bei reduziertem Mineralienbedarf

für Greenpeace International erstellt



Institute for Sustainable Futures
University of Technology Sydney

Level 10, 235 Jones Street
Ultimo NSW 2007

Postal Address

PO Box 123, Broadway NSW 2007

ABN: 77 257 686 961

www.isf.uts.edu.au

März 2026

Impressum

Greenpeace e.V., Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg, T 040 30618-0 **Pressestelle** T 040 30618-340,
presse@greenpeace.de, greenpeace.de **Politische Vertretung Berlin** Marienstr. 19-20, 10117 Berlin, T 030 308899-0
V.i.S.d.P. Daniela von Schaper **Text** Sven Teske et al. (Original) und Julia James, Brandt+Team (Übersetzung)
Foto © @gettyimages/simonkr **Produktion** Maria Ljungdahl **Gestaltung** Sabine Mestars **Stand** 03/2026 **GP0SU881H**

Über die Autor:innen

Das Institute for Sustainable Futures (ISF) wurde 1996 von der University of Technology Sydney (UTS) gegründet, um gemeinsam mit Industrie, Regierung und Gesellschaft nachhaltige Zukunftsszenarien durch Forschung und Beratung zu entwickeln. Unsere Mission ist es, einen Wandel hin zu nachhaltigen Zukunftsszenarien zu schaffen, die die Umwelt, das menschliche Wohlergehen und die soziale Gerechtigkeit schützen und fördern. Wir verfolgen einen interdisziplinären Ansatz und binden unsere Partnerorganisationen in einen kollaborativen Prozess ein, der strategische Entscheidungsfindung in den Vordergrund stellt.

Weitere Informationen finden sich hier:
www.isf.uts.edu.au

Kooperationspartner

Dieses Projekt wurde in Kooperation mit Greenpeace International, mit Sitz in Amsterdam/Niederlande, durchgeführt.

Quellenangabe

Teske, S., Niklas, S., Miyake, S., Hamilton, S. (2026); Beyond Extraction: Pathways for a 1.5°C-aligned Energy Transition with Less Minerals; prepared for Greenpeace International by The University Technology Sydney, Institute for Sustainable Futures; February 2026

Danksagung

Die Autor:innen danken Greenpeace International für die Bereitstellung von Daten und Ratschlägen. Diese Studie wurde von Greenpeace International und Greenpeace Deutschland finanziert. Alle Schlussfolgerungen und etwaige verbleibende Fehler obliegen den Autor:innen.

Haftungsausschluss

Die Autor:innen haben alle gebotene Sorgfalt und Sachkenntnis angewendet, um sicherzustellen, dass das Material zum Zeitpunkt dieses Berichts korrekt ist. UTS und die Autor:innen übernehmen keine Haftung für Verluste, die durch den Bezug auf den Inhalt entstehen.

Zusatzmaterial

Hintergrundmaterialien des Kartierungsprozesses (Kapitel 6 und 8) sind auf der „Greenpeace International Global Restricted Areas Map“ verfügbar: <https://maps.greenpeace.org/maps/gpint/restricted-areas/>

Die Ergebnistabellen für die Berechnung der Ressourcen an Mineralien sind auf der OECM-Website verfügbar:
www.uts.edu.au/oecm

Anmerkung zur deutschen Übersetzung

Dies ist die Übersetzung der englischen Zusammenfassung der Studie. Die Gesamtstudie findet sich in der Quellenangabe sowie auf der Website von Greenpeace International.

Institute for Sustainable Futures

University of Technology Sydney
PO Box 123, Broadway NSW 2007
Australia
<https://www.uts.edu.au/>

© UTS Februar 2026

Vorwort von Greenpeace International

Mineralien wie Lithium, Nickel, Kupfer und Kobalt – häufig als Übergangsmaterialien oder kritische Mineralien bezeichnet – spielen weltweit eine zunehmend zentrale Rolle. Förderung, Verarbeitung und Lieferketten dieser Mineralien sind zu zentralen geopolitischen Themen und Spannungsfeldern geworden und bergen erhebliches Konfliktpotenzial. Mit der Weiterentwicklung und dem Ausbau neuer wie bestehender Energietechnologien prägen Angebot und Nachfrage sowie Vorschläge zur rücksichtslosen Rohstoffgewinnung die öffentliche Debatte, während die ökologischen und sozialen Auswirkungen des Abbaus in den Hintergrund treten. Das Leid indigener Völker und lokaler Gemeinschaften (IP&LC, Indigenous People and Local Communities) sowie die fortschreitende Zerstörung von Natur – an Land ebenso wie in der Tiefsee – werden häufig als notwendiges Übel der Energiewende dargestellt.

Greenpeace ist überzeugt, dass sich mit den richtigen politischen Entscheidungen kritische Ökosysteme wirksam als bergbaufreie Gebiete sichern und die Rechte indigener Völker sowie lokaler Gemeinschaften (IP&LC) schützen lassen – bei gleichzeitig ausreichender Verfügbarkeit von Mineralien für eine ambitionierte, am Pariser Abkommen ausgerichteten Energiewende. Wie in Greenpeaces „Guiding Principles on Minerals for the Energy Transition“¹ dargelegt, lässt sich der Bedarf an Mineralien – und damit auch der vermeintliche Bedarf neuer Bergbauprojekte – durch ein Bündel strategischer Maßnahmen deutlich senken. Dazu gehören insbesondere die Priorisierung von Mineralien für zentrale Anwendungen der Energiewende sowie eine Neugestaltung des Verkehrssystems mit einem klaren Schwerpunkt auf öffentlichem Verkehr und aktiver Mobilität. So lassen sich auch die von neuem Bergbau ausgehenden negativen Auswirkungen auf Menschen und Natur minimieren.

Gemeinsam mit dem Institute for Sustainable Futures der University of Technology Sydney (UTS-ISF) hat Greenpeace International den Materialbedarf unterschiedlicher, mit dem 1,5-Grad-Ziel vereinbarter Energiewende-Szenarien modelliert. Dabei wurden Strategien für Suffizienz und Effizienz aufgezeigt – also dafür, den Bedarf an Mineralien insgesamt zu senken und den Materialeinsatz pro Anwendung zu verbessern. Ergänzend dazu wurden ambitionierte Recyclingziele definiert sowie technologische Alternativen untersucht, die deutlich weniger Übergangsmaterialien erfordern. Diese Ansätze – in den Guiding Principles verankert und auf eine 1,5-Grad-konforme-Zukunft ausgerichtet – bilden die Grundlage für das in diesem Bericht vorgestellte „Progressive Szenario (PRO)“.

Greenpeace hat zudem eine globale Karte mit Schutzgebieten („Global Restricted Areas Map“)² erstellt, die Gebiete mit besonderer ökologischer, naturbezogener und/oder sozialer Bedeutung ausweist, in denen Rohstoffgewinnung eingeschränkt werden sollte. Durch den Abgleich dieser Gebiete mit Regionen, in denen Vorkommen von Übergangsmaterialien wahrscheinlich sind, wird deutlich, dass das von der Bergbaulobby propagierte vermeintliche Dilemma zwischen der Zerstörung von Wäldern und der Tiefsee konstruiert und sachlich nicht gerechtfertigt ist.

Die Ergebnisse dieses Berichts sind ermutigend. Wie die folgenden Kapitel zeigen, lassen sich Menschen und Natur schützen – und zwar mit weniger Bergbau an Land als häufig prognostiziert wird, und ohne die Ozeane für den Tiefseebergbau zu öffnen. Gleichzeitig ist ein Umbau von Energie- und Verkehrssystemen weg von fossilen Brennstoffen hin zu kostengünstiger, breit verfügbarer erneuerbarer Energie möglich, getragen von Solarenergie und Windkraft sowie intelligenten Energielösungen. Die Analyse zeigt, dass sich mit entschlossener politischer Führung, klaren politischen Entscheidungen und geeigneten politischen Anreizen bestehende und neue Technologien so einsetzen lassen, dass die Erderwärmung auf höchstens 1,5°C begrenzt werden kann. Gleichzeitig können kritische Ökosysteme geschützt werden und Gerechtigkeit sowie soziale Fairness integraler Bestandteil aller Lösungen im Umgang mit Übergangsmaterialien sein.

1 Greenpeace International (2025). Minerals for Energy Transition: Greenpeace's Guiding Principles. Verfügbar unter <https://www.greenpeace.org/international/publication/75188/minerals-for-energy-transition-greenpeaces-guiding-principles/> (abgerufen am 19. Dezember 2025). Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich alle Verweise auf Greenpeace in diesem Bericht auf Greenpeace International.

2 Greenpeace International: Global Restricted Areas Map. <https://maps.greenpeace.org/maps/gpint/restricted-areas/>

Zusammenfassung

Einleitung und Ansatz

Um die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen und die Erderwärmung möglichst auf 1,5° C zu begrenzen, ist ein rascher Übergang zu vollständig erneuerbaren Energie- und Verkehrssystemen erforderlich. Mit dem erwarteten Ausbau erneuerbarer Energieerzeugung und entsprechender Speichertechnologien erfordert der damit verbundene Ressourcenbedarf sorgfältige Abwägungen, um die negativen ökologischen und sozialen Auswirkungen des Mineralienabbaus möglichst gering zu halten.

Die vorliegende Studie baut auf früheren Arbeiten des UTS-ISF auf, die den zukünftigen Bedarf an Mineralien, die verantwortungsvolle Rohstoffgewinnung sowie verfügbare Vorkommen im Kontext einer auf erneuerbaren Energien basierenden Zukunft^{3,4} untersucht haben. Ziel der Studie ist es, die Prognosen zum Mineralienbedarf vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen – insbesondere von Batterietechnologien – zu aktualisieren und Strategien zu untersuchen, mit denen sich der Gesamtbedarf an Mineralien senken lässt, etwa durch verstärktes Recycling und Veränderungen im Verkehrsmodell.

Zur Untersuchung des Ressourcenbedarfs an Mineralien unter unterschiedlichen Annahmen (näher erläutert in Kapitel 5) wurden drei Szenarien entwickelt, wobei das One Earth Climate Model (OECM) als zentrales Energiemodell diente:

- i) OECM Net Zero Scenario (OECM) – Referenzszenario auf Basis des One Earth Climate Model,
- ii) Progressive Scenario (PRO) – Szenario mit weitergehenden Maßnahmen zur Senkung des Mineralienbedarfs,
- iii) Progressive Accelerated Sodium-ion Battery Scenario (PRO-Na-ion) – Variante des PRO mit beschleunigter Einführung von Natrium-Ionen-Batterietechnologien.

Kartierung von Restricted Areas und Reserves Proxy Areas

Zur Analyse der Auswirkungen künftiger Bergbauprojekte hat Greenpeace eine Restricted Areas Map erstellt, die Regionen mit besonders hoher ökologischer, naturbezogener oder sozialer Bedeutung ausweist. Gleichzeitig wurden sogenannte Reserves Proxy Areas kartiert – also Gebiete mit potenziellen Bergbauaktivitäten, insbesondere für Nickel, Lithium und Kobalt. Die Betrachtung der räumlichen Überlagerung dieser beiden Gebiets-typen und die daraus gezogenen Schlüsse können in zukünftige Entscheidungen über Exploration und Abbau der Ressourcen von Mineralien fließen, die der Energiewende zugrunde liegen.

Zentrale Ergebnisse

Der Ressourcenbedarf für neun Mineralien – Kupfer, Kobalt, Graphit, Dysprosium, Lithium, Mangan, Neodym, Nickel und Vanadium – wurde berechnet.

Vergleich der Szenarien

Die berechneten Mineralienbedarfe für das OECM, das Progressive Scenario (PRO) und das Progressive Accelerated Na-ion Scenario (PRO-Na-ion) werden den Ergebnissen des Berichts der Internationalen Energieagentur (IEA) „Global Critical Mineral Outlook 2025“ gegenübergestellt. Zwischen den fünf in diesem Abschnitt

3 Teske, S., Florin, N., Dominish, E., Giurco, D. (2016) Renewable Energy and Deep-Sea Mining: Supply, Demand and Scenarios. Report prepared by ISF for J.M. Kaplan Fund, Oceans 5 and Synchronicity Earth, July 2016, https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/67336/1/DSM%20-%20RE%20resource%20Report_9_FINAL%20DRAFT-NEWTITLE-ANDNAME.pdf (abgerufen am 19. Dezember 2025)

4 Dominish, E., Florin, N., Teske, S., 2019, Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy. Report prepared for Earthworks by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney. Verfügbar unter https://utsd8.prod.acquia-sites.com/sites/default/files/2019-04/ISFEarthworks_Responsible%20minerals%20sourcing%20for%20renewable%20energy_Report.pdf (abgerufen am 19. Dezember 2025)

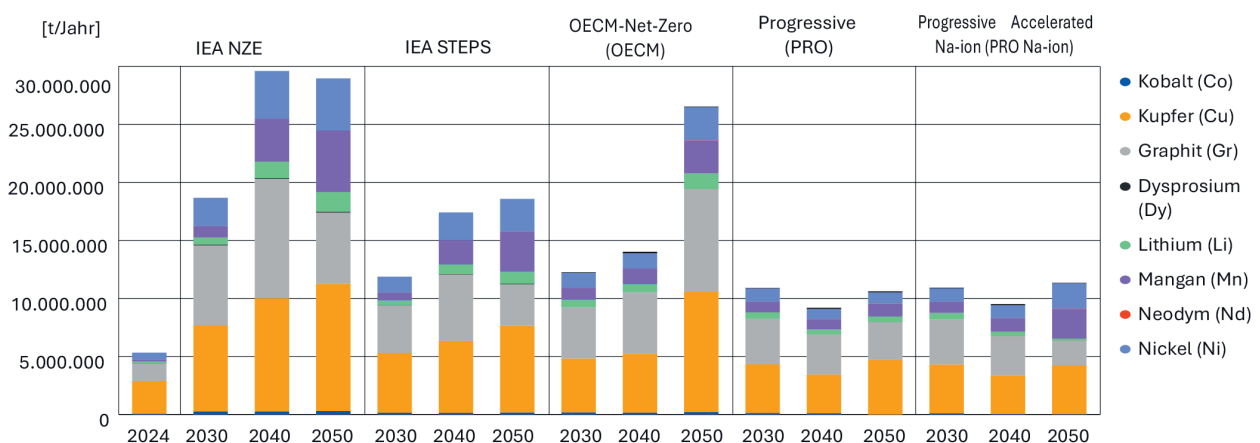
betrachteten Szenarien bestehen erhebliche Unterschiede – nicht nur hinsichtlich der angenommenen Parameter für den Mineralienbedarf, sondern auch in Bezug auf die Annahmen für Energiebedarf und Versorgungsstrukturen. Die Bedarfsprognose im Transportsektor ist in beiden IEA-Szenarien deutlich höher als im OECM sowie in den beiden PRO-Szenarien. Dies führt zu unterschiedlichen Marktvolumina für Batterien. Darüber hinaus wird das aus der Recyclingsammlung wiederverwendete Material in den IEA-Szenarien berücksichtigt, nicht jedoch in den OECM/PRO-Szenarien. Aufgrund dieser methodischen Unterschiede bestehen erhebliche Unsicherheiten.

Die IEA berücksichtigt in ihren Analysen den Kupferbedarf für Stromerzeugung, Stromspeicherung und Stromnetze, während sich die Bewertung im Rahmen des OECM und der PRO-Szenarien auf Stromerzeugung und -speicherung beschränkt. Für den Vergleich der Szenarien wird der auf Stromnetze entfallende Kupferbedarf daher aus den IEA-Ergebnissen herausgerechnet.

Die Ergebnisse der IEA-Szenarien „Stated Policies Scenario“ (STEPS) und „Net-Zero Emissions by 2050“ (NZE) werden mit dem OECM- sowie dem PRO-Szenario verglichen.

Abbildung E1: Jährlicher Mineralienbedarf inklusive Recycling – Vergleich der IEA- und OECM/PRO-Szenarien

Hinweis: Die in den IEA-Szenarien zugrunde gelegten Recyclingquoten liegen unter denen, die für das OECM und die PRO-Szenarien angesetzt werden.



Die Nachfrage nach den betrachteten Mineralien ist im IEA-Net-Zero-Szenario höher als im OECM- oder PRO-Szenario. Neben unterschiedlichen Recyclingquoten und angewandten Methoden ist dieser Unterschied auch auf einen insgesamt geringeren Energiebedarf zurückzuführen. Die OECM- und PRO-Szenarien beruhen auf ambitionierteren Effizienzmaßnahmen, einer geringeren angenommenen jährlichen Produktionskapazität für Elektrofahrzeuge sowie einem stärkeren Ausbau des öffentlichen Verkehrs.

Dennoch zeigen die Entwicklungspfade in allen Szenarien denselben Trend. Der Ressourcenbedarf fällt im PRO-Szenario geringer aus als in den IEA- und OECM-Berechnungen – unter anderem aufgrund eines kleineren Marktes für Elektrofahrzeuge und der größeren Bedeutung des öffentlichen Verkehrs auf Straße und Schiene.

Progressive Scenario – Mineralienbedarf inklusive Recycling

Das Progressive Scenario (PRO) kombiniert die ambitionierten Energieeffizienzmaßnahmen des OECM mit einem starken Ausbau des öffentlichen Verkehrs sowie weiteren Faktoren. Den größten Effekt für eine ressourceneffiziente Nutzung von Mineralien hat dabei die Kombination aus geringerer Nachfrage und hohen Recyclingquoten. Zwar liegen die Recyclingquoten im PRO-Szenario über denen des OECM, ausschlaggebend für den deutlich niedrigeren Mineralienbedarf ist jedoch vor allem der reduzierte Konsum. Der geringere Ressourcenbedarf im PRO-Szenario ist teilweise auf die angenommene geringere Zahl an Kraftfahrzeugen zurückzuführen, die bis 2050 produziert werden. Im OECM führt die Entwicklung zu einem kumulierten globalen Pkw-Bestand von zwei Milliarden Fahrzeugen – etwa 800 Millionen mehr als die geschätzten 1,2 Milliarden⁵ im Jahr 2022. Im PRO-Szenario steigt der Bestand um rund 400 Millionen auf insgesamt 1,6 Milliarden Kraftfahrzeuge im Jahr 2050. Darüber hinaus trägt auch ein veränderter Mix an Batterietechnologien zur Senkung des Ressourcenbedarfs an Mineralien bei.

Hohe Recyclingquoten verringern im PRO-Szenario den Druck auf den Ressourcenbedarf zusätzlich. Die höchste jährliche Bergbauförderung im PRO-Szenario (einschließlich Recycling) ist bei allen untersuchten Mineralien außer Vanadium um den Faktor zwei bis sechs geringer als der Mineralienbedarf für Energietechnologien im Jahr 2024. Bei Vanadium ist die jährliche Nachfrage in den Jahren 2040 und 2050 sogar leicht höher als im OECM, was auf den verstärkten Einsatz von Redox-Flow-Speichersystemen zur Netzstabilisierung und für Speicheranwendungen zurückzuführen ist.

Tabelle E1:

Progressive Scenario (PRO) – Entwicklung des jährlichen Mineralienbedarfs inklusive Recycling

Materialbedarf inklusive Recycling		Materialbedarf für Energietechnologien 2024	Globaler Bergbau 2024	Anteil Energiewende- materialien	Jährl. Material- bedarf 2030 Vergleich zu 2024	Jährl. Material- bedarf 2050 Vergleich zu 2024	Jährl. Materialbedarf aus Bergbau (0, wenn vollständig aus Recycling)				
							2030	2035	2040	2045	2050
							[t/Jahr]	[t/Jahr]	[t/Jahr]	[t/Jahr]	[t/Jahr]
Kobalt	Co	70.600	290.000	24%	1,8	0,0	124.000	173.000	98.400	0	394
Kupfer	Cu	2.808.000	23.000.000	12%	1,5	1,7	4.197.000	4.190.000	3.330.000	3.219.000	4.690.000
Graphit	Gr	1.505.000	1.600.000	94%	2,6	2,2	3.931.000	4.221.000	3.472.000	2.315.000	3.277.000
Dysprosium	Dy	1.530	1.800	85%	1,0	2,1	1.490	1.640	1.370	2.270	3.140
Lithium	Li	128.000	240.000	53%	4,3	3,6	545.000	514.000	421.000	329.000	465.000
Mangan	Mn	186.000	20.000.000	1%	4,9	6,0	914.000	939.000	894.000	836.000	1.107.000
Neodym	Nd	14.600	16.000	91%	0,2	1,4	3.130	6.310	5.060	14.900	20.800
Nickel	Ni	562.000	3.700.000	15%	2,0	1,7	1.126.000	1.111.000	865.000	695.000	952.000
Vanadium	V	892	100.000	1%	60,4	102,4	53.900	112.000	104.000	93.600	91.300

5 Teske, S., Bratzel, S., Tellermann, R., Stephan, B., Vargas, M. (2022). Net Zero: The Remaining Global Market Volume for Internal Combustion Engines in Light-Duty Vehicles under a 1.5°C Carbon Budget Trajectory. *Energies*, 15(21), 8037. <https://doi.org/10.3390/en15218037>

Tabelle E2 zeigt den gesamten Mineralienbedarf im PRO-Szenario im Vergleich zu bekannten Reserven und Ressourcen. Die zugrunde gelegten Annahmen wirken sich besonders stark auf die Auslastungsraten von Lithium (– 25 %), Kobalt (– 22 %), Graphit (– 19 %) und Nickel (– 11 %) aus – jeweils im Vergleich zur Materialnachfrage im OECM-Szenario im Verhältnis zu den Reserven. Bezogen auf die verfügbaren Ressourcen liegt der Materialbedarf für Energiewendetechnologien bei allen untersuchten Mineralien unter 12 %.

Tabelle E2:

Progressive Scenario (PRO): Entwicklung des jährlichen Mineralienbedarfs inklusive Recycling

Materialbedarf inklusive Recycling		Aktuelle globale Reserven (USGS- Statistik 2024)	Aktuelle globale Ressourcen (USGS-Statistik 2024)	Gesamt 2024–2050	Gesamter Materialbedarf vs. globale Reserven & Ressourcen	
					Kumulierter Materialbedarf (Szenario) 2024–2050 [t] vs. Reserven	Kumulierter Materialbedarf (Szenario) 2024–2050 [t] vs. Ressourcen
		[t]	[t]	[t]	[%]	[%]
Kobalt	Co	11.000.000	25.000.000	2.617.000	24%	10%
Kupfer	Cu	980.000.000	3.500.000.000	102.437.000	10%	3%
Graphit	Gr	290.000.000	800.000.000	90.464.000	31%	11%
Dysprosium	Dy	1.100.000	1.980.000	56.000	5%	3%
Lithium	Li	30.000.000	115.000.000	12.317.000	41%	11%
Mangan	Mn	1.700.000.000	UNBEKANNT	24.809.000	1%	UNBEKANNT
Neodym	Nd	12.800.000	23.040.000	281.000	2%	1%
Nickel	Ni	130.000.000	350.000.000	26.697.000	21%	8%
Vanadium	V	18.000.000	63.000.000	1.929.000	11%	3%

Progressive Scenario Accelerated Na-ion (PRO-Na-ion) – Mineralienbedarf inklusive Recycling

Das Progressive Scenario Accelerated Na-Ion (PRO-Na-ion) zielt darauf ab, den weltweiten Lithiumbedarf durch die Annahme eines veränderten Batteriemixes weiter zu senken. Ein direkter Vergleich der beiden PRO-Szenarien zeigt, dass auch die Nachfrage nach Graphit und Vanadium zurückgeht. Dieses Szenario ist realisierbar, wenn sich Natrium-Ionen-Batterietechnologien ab etwa 2040 am Markt durchsetzen.

Tabelle E3:

Anstieg des jährlichen Mineralienbedarfs im Jahr 2050 gegenüber 2024 unter den Szenarien PRO und PRO-Na-ion inklusive Recycling

	2024 -2050	
	PRO	PRO-Na-ion
Kobalt	0,0	0,3
Kupfer	1,7	1,5
Graphit	2,2	1,4
Dysprosium	2,1	2,1
Lithium	3,6	1,2
Mangan	6,0	13,7
Neodym	1,4	1,4
Nickel	1,7	3,9
Vanadium	102,4	47,2

Tabelle E4 zeigt, dass die Nutzungsrate aller Mineralien im Vergleich zu den bekannten Ressourcen höchstens 10 % beträgt, während sie im Vergleich zu den derzeit bekannten Reserven für alle untersuchten Mineralien höchstens 35 % erreicht.

Tabelle E4:

**Progressive Scenario Accelerated Na-ion (PRO-Na-ion) –
Entwicklung des jährlichen Mineralienbedarfs inklusive Recycling**

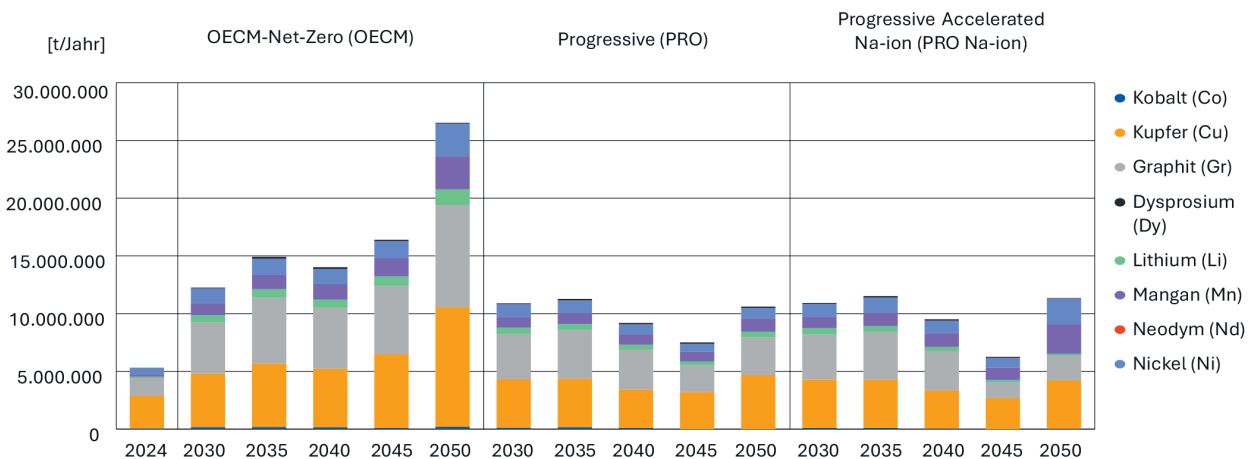
Materialbedarf inklusive Recycling		Gesamter Materialbedarf vs. globale Reserven & Ressourcen				
		Aktuelle globale Reserven (Statistik 2024)	Aktuelle globale Ressourcen (Statistik 2024)	Gesamt 2024–2050	Kumulierter Materialbedarf (Szenario) 2024–2050 [t] vs. Reserven	Kumulierter Materialbedarf (Szenario) 2024–2050 [t] vs. Ressourcen
		[t]	[t]	[t]	[%]	[%]
Kobalt	Co	11.000.000	25.000.000	1.907.000	17%	8%
Kupfer	Cu	980.000.000	3.500.000.000	99.144.000	10%	3%
Graphit	Gr	290.000.000	800.000.000	81.894.000	28%	10%
Dysprosium	Dy	1.100.000	1.980.000	57.000	5%	3%
Lithium	Li	30.000.000	115.000.000	10.462.000	35%	9%
Mangan	Mn	1.700.000.000	UNBEKANNT	33.402.000	2%	UNBEKANNT
Neodym	Nd	12.800.000	23.040.000	283.000	2%	1%
Nickel	Ni	130.000.000	350.000.000	33.631.000	26%	10%
Vanadium	V	18.000.000	63.000.000	1.695.000	9%	3%

Vergleich von OECM und PRO

Abschließend werden die jährlichen Mineralienbedarfe im OECM-Szenario und im PRO-Szenario für die Jahre 2030 bis 2050 in Fünfjahresabständen miteinander verglichen. Eine erfolgreiche Umsetzung der im PRO-Szenario zugrunde gelegten Annahmen im Verkehrssektor führt zu erheblichen Ressourceneinsparungen und verringert die insgesamt erforderliche Mineralienförderung im Zeitraum 2024 bis 2050 im Vergleich zum OECM-Szenario um rund ein Drittel. Ein beschleunigter Entwicklungspfad für Natrium-Ionen-Batterien hätte zudem einen deutlichen Effekt auf die Verringerung der weltweiten Lithium-Nachfrage.

Abbildung E2:

Jährlicher Mineralienbedarf inklusive Recycling – Vergleich der Szenarien



Die signifikante Reduzierung des Materialbedarfs zwischen dem OECM-Szenario und dem Progressive Accelerated Na-ion Szenario (PRO-Na-ion) – jeweils unter Berücksichtigung von Recycling (siehe Abbildungen E2 und E3) – zeigt, dass Materialeinsparungen nicht beim Recycling enden. Eine progressive Verkehrspolitik, die den öffentlichen Verkehr priorisiert und den Individualverkehr reduziert, führt zu weniger Fahrzeugen und damit zu einem geringeren Materialbedarf für Elektrofahrzeuge. Beide PRO-Szenarien senken den Spitzenbedarf an Mineralien von rund 27 Millionen Tonnen im OECM-Szenario auf etwas mehr als 10 Millionen Tonnen.

Im Vergleich zum PRO-Szenario verringert die PRO-Na-ion-Variante den Lithiumbedarf zusätzlich, indem der Batteriemix stärker in Richtung Natrium-Ionen-Batterien verschoben wird.

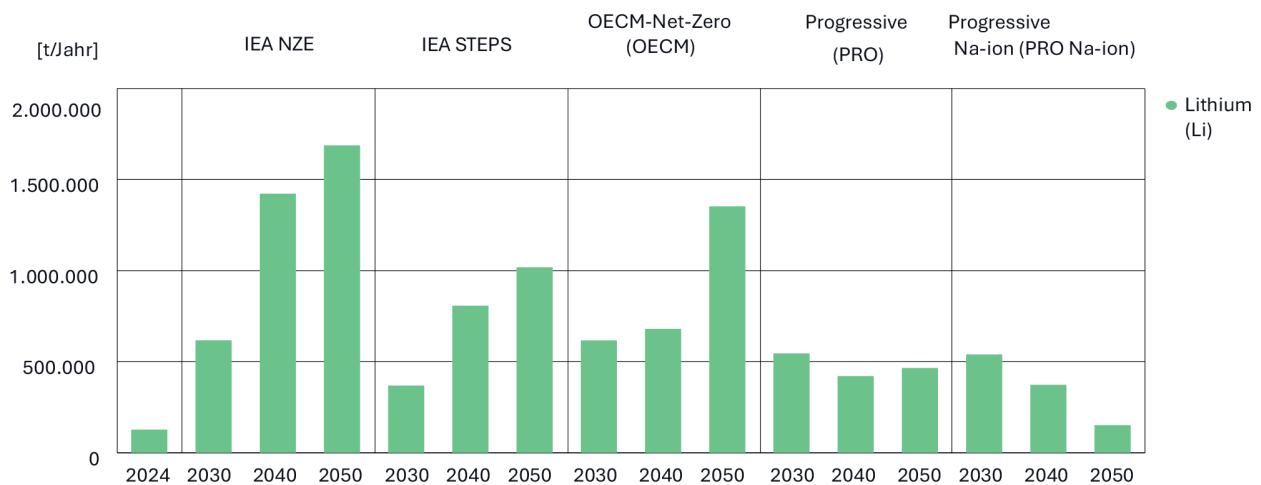
Die Verringerung des Mineralienbedarfs für die notwendige Energiewende zur Dekarbonisierung der Weltwirtschaft sollte einem dreistufigen Ansatz folgen:

1. Maximierung des Recyclings von Materialien (Kreislaufwirtschaft)
2. Reduzierung der Produktionsmenge von Elektrofahrzeugen durch den Ausbau des öffentlichen Verkehrs und gemeinsam genutzter Mobilitätsangebote⁶
3. Priorisierung von Batterietechnologien mit hoher Materialeffizienz und häufig vorkommenden Mineralien, um den Abbau seltener oder schwer zugänglicher Materialien zu verringern

⁶ Weltweiter Fahrzeugbestand von 1,6 Milliarden Pkw in 2050 im Vergleich zu 2 Milliarden Pkw im OECM-Szenario. Ein vollständiger Umstieg auf E-Mobilität wird in beiden Szenarien umgesetzt.

Abbildung E3:

Vergleich des Lithiumbedarfs in fünf verschiedenen Szenarien inklusive Recycling



Vergleich der prognostizierten Bedarfe an Kobalt, Lithium und Nickel mit geschätzten Reserven außerhalb von Schutzgebieten

Wird die Karte der Reserves Proxy Areas mit der Karte der Restricted Areas übereinander gelegt, zeigt die Analyse, dass etwa 45 % der weltweiten Nickelreserven, 57 % der Lithiumreserven und 27 % der Kobaltreserven – laut USGS (2025) – in Restricted Areas liegen, die für den Bergbau tabu sein sollten. Werden ausschließlich die geschätzten Reserven (flächenbezogen) außerhalb dieser zentralen Schutzgebiete betrachtet und dem Nachfragewert des PRO-Na-ion-Szenarios gegenübergestellt, entspricht dieser Bedarf 47 % der dort verfügbaren Nickelreserven, 81 % der Lithiumreserven und 24 % der Kobaltreserven. Dies deutet darauf hin, dass außerhalb der wichtigsten Schutzgebiete ausreichend Reserven vorhanden sind, um die Nachfrage in diesem Szenario zu decken.

Auch wenn sich die genauen Grenzen einzelner Reserven auf globaler Ebene nicht präzise bestimmen lassen, bietet dieser Ansatz einen belastbaren Rahmen, um potenziellen Nutzungs- und Erschließungsdruck in Restricted Areas weltweit zu identifizieren. Diese Analyse unterstreicht die Notwendigkeit, Lösungen rasch voranzubringen, die unsere Abhängigkeit von neu gewonnenen Mineralien verringern und damit möglichen zusätzlichen Druck auf diese Gebiete reduzieren.

Empfehlungen

Die Energiewende bietet die Chance, den verantwortungsvollen Umgang sowohl mit primären Rohstoffen als auch mit Technologien am Ende ihres Lebenszyklus zu stärken. Da erneuerbare Energietechnologien zunehmend zum zentralen Treiber der Nachfrage nach den in diesem Bericht betrachteten Mineralien werden, eröffnet sich die Möglichkeit, die Nachhaltigkeit der entsprechenden Lieferketten insgesamt zu verbessern.

Für eine umweltverträgliche und gerechte Energiewende mit geringerem Mineralienbedarf sind fünf zentrale Maßnahmen erforderlich:

1. Senkung des Mineralienbedarfs durch Investitionen in gemeinsam genutzte Mobilitätssysteme wie einen verbesserten öffentlichen Verkehr sowie kleinere, effizientere Fahrzeuge
2. Anreize für den Umstieg auf Batterietechnologien, die weniger Lithium, Kobalt oder Nickel benötigen
3. Produktgestaltung im Sinne der Kreislaufwirtschaft sowie Ausbau des Recyclings
4. Priorisierung des Einsatzes von Mineralien für wesentliche Anwendungen der Energiewende
5. Schutz zentraler Schutzgebiete („Key Restricted Areas“) vor bergbaulicher Erschließung