



german
cooperation

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

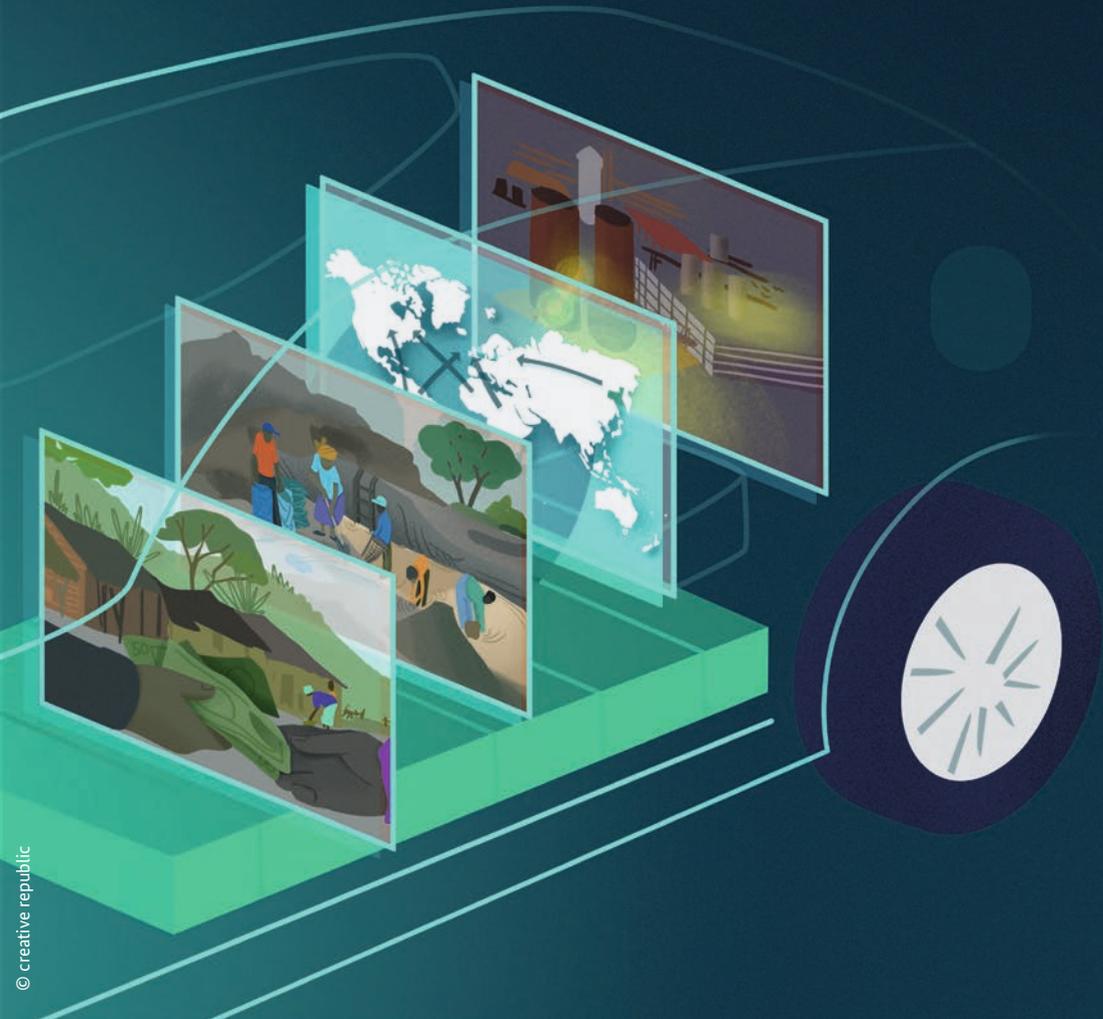
Durchgeführt von:

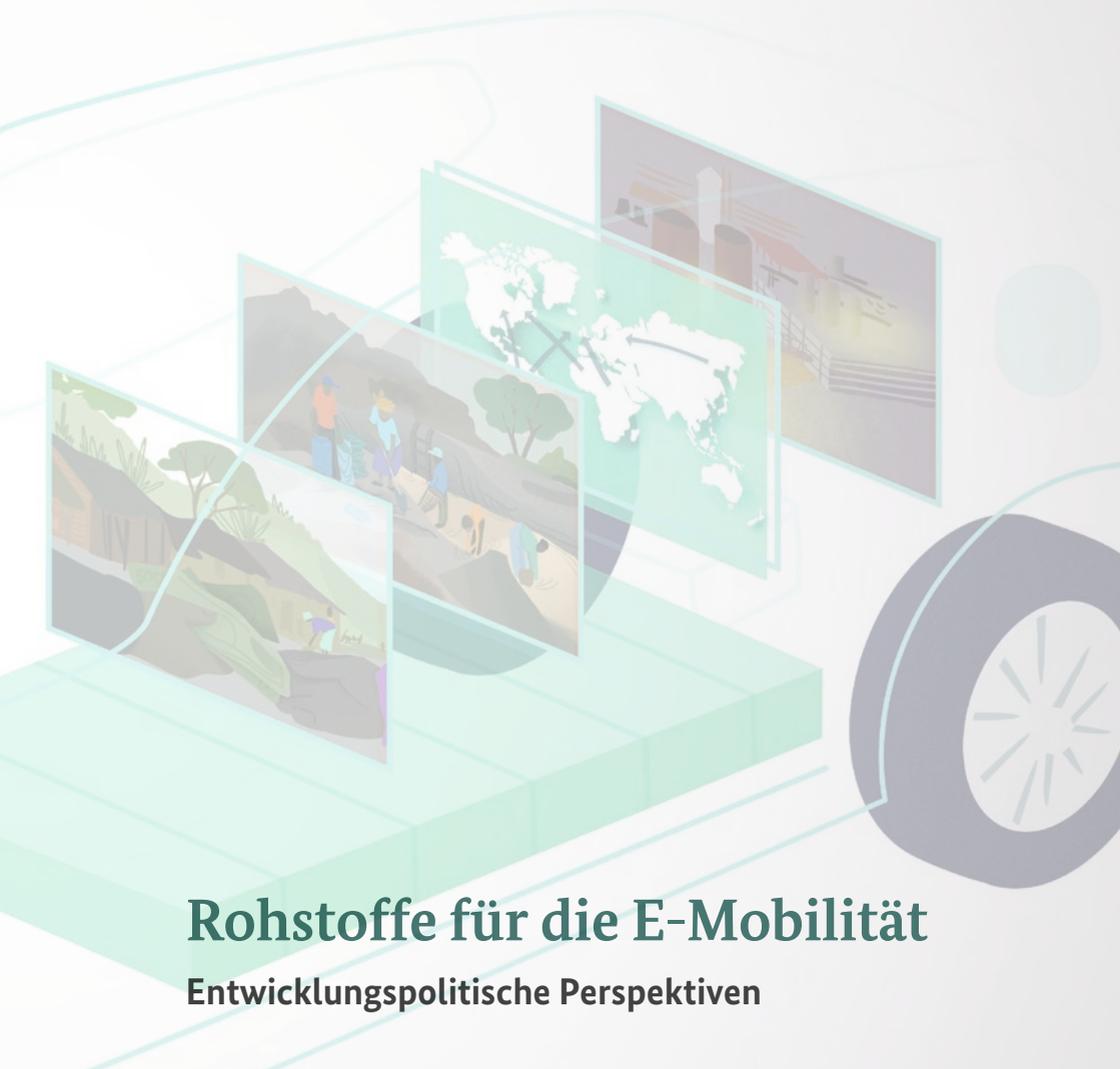
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

BGR Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Rohstoffe für die E-Mobilität

Entwicklungspolitische Perspektiven





Rohstoffe für die E-Mobilität

Entwicklungspolitische Perspektiven

Grußwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die Weltgemeinschaft steht vor einer enormen Herausforderung: Der Klimawandel gefährdet unsere Lebensgrundlage. Nur wenn wir die Menge der Treibhausgasemission drastisch senken, können wir das Pariser 1,5-Grad-Ziel noch erreichen und unseren Planeten auch für zukünftige Generationen lebenswert erhalten. Dafür bedarf es einer Wende im Energie- und Verkehrsbereich, hin zu emissionsarmen Alternativen.

Denn Kohlenstoffdioxidemissionen durch den Verkehr sind ein großer Treiber des Klimawandels. Rund ein Viertel (23 %) aller energiebezogenen CO₂-Emissionen stammten 2016 aus dem Transportsektor, mit steigender Tendenz. Auch in Deutschland ist der Verkehrssektor der drittgrößte Verursacher von Kohlenstoffdioxidemissionen. Daher brauchen wir eine globale Mobilitätswende: Eine Transformation des Mobilitätsverhaltens hin zu aktiver, öffentlicher und geteilter Mobilität und einen Umstieg auf nachhaltige Technologien wie die E-Mobilität. In Deutschland und weltweit.

Das lenkt den Blick auf die notwendigen Voraussetzungen für E-Mobilität, wie Stromspeicher und Batterien, und die dafür benötigten Rohstoffe. Für die heute üblichen Lithium-Ionen-Batterien werden Lithium, Kupfer, Kobalt und andere Rohstoffe benötigt. Damit rückt die Gestaltung der Lieferketten in den Mittelpunkt: wie kann der Bergbau nachhaltig und fair gestaltet werden und wie kann das Recycling auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft im gesamten Lebenszyklus einer Batterie, vom Design über die Nutzung bis zur Sammlung und Entsorgung gestärkt werden?

Die genannten Rohstoffe werden häufig in Entwicklungs- und Schwellenländern produziert. Der Rohstoffreichtum führt jedoch nicht automatisch zur Verringerung von Armut. Es gibt aber ermutigende Beispiele aus Ländern des globalen Südens, wo durch die Einnahmen aus der Rohstoffproduktion die Lebensbedingungen für die eigene Bevölkerung dauerhaft verbessert werden konnten.

Gleichzeitig ist die Produktion von Rohstoffen mit vielen sozialen und ökologischen Risiken und Herausforderungen verbunden. Im Kleinbergbau gibt es Kinderarbeit, es wird geschätzt, dass weltweit ca. 1 Mio. Kinder im Bergbau arbeiten. Mancherorts werden gewaltsame Konflikte durch Einnahmen aus dem Rohstoffhandel finanziert.

In einigen Regionen der Welt führt Rohstoffproduktion zur Entwaldung. Entwaldung trägt zum Verlust von Biodiversität bei und reduziert die Verfügbarkeit von Ökosystemdienstleistungen, beispielsweise die Wasserqualität. Darüber hinaus werden die Lebensgrundlagen von lokalen Gemeinden gefährdet.

Der Abbau der Rohstoffe für die weltweite Mobilitätswende muss also unter Einhaltung von sozialen und ökologischen Standards erfolgen. Unsere Zukunft in Europa ist eng mit der Zukunft der rohstoffproduzierenden Länder verbunden. Daher unterstützt das Bundesministerium für wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (BMZ) seit langem Partnerländer in der nachhaltigen Entwicklung ihres Rohstoffsektors. Durch Projekte und politische Initiativen fördern wir die Entwicklung verantwortungsvoller Rohstofflieferketten, damit Menschen und Umwelt vom Bergbau profitieren können.

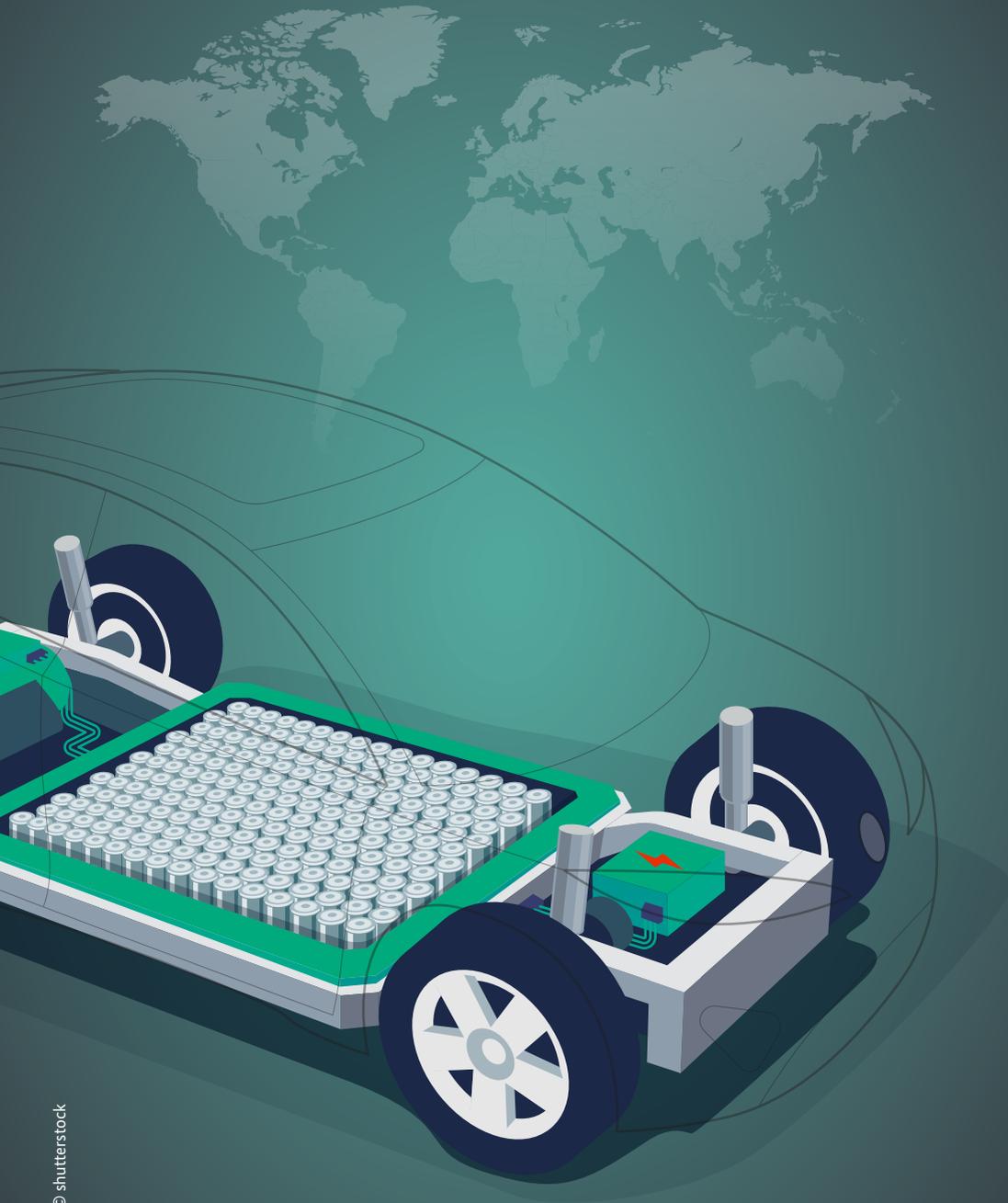
Mit dieser Broschüre möchten wir Ihnen einen Überblick über die Rohstoffe geben, die für die E-Mobilität benötigt werden und wie deren verantwortungsvolle Produktion durch die deutsche Entwicklungszusammenarbeit unterstützt wird.

Ich wünsche eine interessante Lektüre.



Dr. Heike Henn

Leiterin der Unterabteilung 42 des Bundesministeriums
für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
„Klima und Energie; Nachhaltige Stadtentwicklung; Umwelt“
Beauftragte für Klimapolitik und Klimafinanzierung



Inhaltsverzeichnis

GRUSSWORT	4
INHALTSVERZEICHNIS	7
ABBILDUNGSVERZEICHNIS UND ERKLÄRUNG DER SYMBOLE	8
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	10
Mobilität der Zukunft.....	12
Wie ist eine Lithium-Ionen-Batterie im Elektroauto aufgebaut?	16
Zukünftiger Rohstoffbedarf	18
Rohstoffe und nachhaltige Entwicklung.....	20
Übersicht: EZ-Aktivitäten im Rohstoffsektor	24
Aluminium & Aluminiumerze (Bauxit)	34
Graphit.....	42
Kobalt.....	48
Kupfer	56
Lithium	62
Mangan.....	68
Nickel.....	76
Zinn	82
Recyclingpotential	88
Substitution	94
GLOSSAR	96
QUELLENVERZEICHNIS.....	100
IMPRESSUM.....	108

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die Grundlage aller modernen Batterien bilden mineralische Rohstoffe	16
Abb. 2: In der Kathode enthaltene Rohstoffe der NMC111-Batterie mit einer Leistung von 30 kWh.....	19
Abb. 3: Nachhaltige Entwicklung im Sinne der Agenda 2030	20
Abb. 4: Skyline von Santiago de Chile mit modernen Bürogebäuden im Finanzviertel von Las Condes.....	24
Abb. 5: Das neue zentrale Geschäftsviertel in Bagorone, Botswana	24
Abb. 6: Kleinbergbau in der Region Kono, Westafrika	25
Abb. 7: Industrieller Kupfertagebau Centinela in der Region Antofagasta in Chile.....	25
Abb. 8: Kleinbergbau ist in vielen Regionen Afrikas von hoher wirtschaftlicher Bedeutung	26
Abb. 9: Regionale und bilaterale Projekte der deutschen EZ im Rohstoffsektor	31
Abb. 10a: Exemplarische Erklärung von Upstream und Downstream	32
Abb. 10b: Exemplarische Rohstofflieferkette aus industriellem Großbergbau und Kleinbergbau	33
Abb. 11: Guinea ist einer der größten Exporteure des Aluminiumerzes Bauxit	34
Abb. 12: Bauxit wird hauptsächlich im Großbergbau gefördert	35
Abb. 13: (schematisch): weltweiter Handel und Produktion von Aluminium (-erzen)	36–37
Abb. 14: Bauxitabbau in Waipa, Australien	41
Abb. 15: Graphit wird sowohl im Tagebau als auch Untertage abgebaut	42
Abb. 16: China dominiert im Abbau von natürlichem Graphit.....	43
Abb. 17: Auch in Deutschland wird Graphit abgebaut	47
Abb. 18: Kleinbergbau ist in einigen Regionen von hoher wirtschaftlicher Bedeutung	48
Abb. 19: 75 % der weltweiten Produktion von Kobalt aus dem industriellen Abbau	49
Abb. 20: Handelswege von Kobalt aus dem artisanalen Kleinbergbau.....	50–51
Abb. 21: Kleinbergbau von Kobalt in der Demokratischen Republik Kongo.....	55
Abb. 22: Chuquicamata ist ein großindustrielles Kupferbergwerk	56
Abb. 23: Kupfer wird derzeit in über 50 Ländern gefördert.....	57
Abb. 24: Kupferplattenlager der Mine Lomas Bayas in der Region Antofagasta in Chile.....	60
Abb. 25: Salzwüste Salinas Grandes in der Provinz Jujuy im Nordwesten Argentiniens.	62
Abb. 26: Lithium wird bislang wirtschaftlich aus Festgesteinsvorkommen und Salaren gewonnen.....	63
Abb. 27: Solebecken für den Lithiumabbau.....	67
Abb. 28: Schmelze von Mogale Alloys, Südafrika.....	68
Abb. 29: Mangan wird zu größten Teilen im industriellen Bergbau abgebaut.....	69
Abb. 30: Vereinfachte Lieferkette von Mangan für die Batterieproduktion	70–71
Abb. 31: Manganproduktion in der Wessels Mine in Südafrika.....	75
Abb. 32: Nickelproduktion in Norilsk, Russland	76
Abb. 33: Die Nickelvorräte (Lagerstätten) weisen eine große geographische Streuung auf.....	77

Abb. 34: Massivsulfid-Nickel-Erz-Gestein (Leinster West Australien).....81

Abb. 35: Zinn kommt auch in Sedimenten wie Sand oder Kies in küstennahen Gewässern vor82

Abb. 36: Zinn kommt in Festgesteinslagerstätten vor, die meist industriell abgebaut werden.....83

Abb. 37: Kassiterit ist das wirtschaftlich bedeutendste Erz zur Gewinnung von Zinn87

Abb. 38: Rohstoffverhältnis in LIB mit verschiedenen Kathoden94

Tabelle: Wichtigste Import- und Exportländer im globalen Handel58

Erklärung der Symbole



Kinderarbeit



Risiken für die Umwelt



Risiken für die
Gesundheit



Konfliktfinanzierung



Soziale Risiken



Risiken für das Klima

Abkürzungsverzeichnis

ASM	Artisanal and small-scale mining (Artisanaler und Kleinbergbau)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CTC	Certified Trading Chains
DERA	Deutsche Rohstoffagentur
DR	Demokratische Republik
EITI	Extractive Industries Transparency Initiative
EPRM	European Partnership for Responsible Minerals
EU	Europäische Union
EUR	Euro
EZ	Entwicklungszusammenarbeit
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH
ICGLR	Internationale Konferenz der Region der Großen Seen
kg	Kilogramm
LIB	Lithium-Ionen-Batterie
LFP	Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie
LME	London Metal Exchange
LSM	Large-scale industrial mining (industrieller Großbergbau)

MinSus	Regionale Kooperation zur nachhaltigen Gestaltung des Bergbaus in den Andenländern
MWh	Megawattstunde
NMC	Nickel-Mangan-Kobalt
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
RINR	Regional Initiative against the Illegal Exploitation of Natural Resources
SDGs	Sustainable Development Goals
SHFE	Shanghai Futures Exchange
t	Tonne
TZ	Technische Zusammenarbeit
USD	Dollar der United States of America



Die Mobilität der Zukunft

Mobilität ist Grundvoraussetzung für wirtschaftliches Wachstum, Wohlstand und Lebensqualität. In vielen Ländern stehen Städte jedoch vor dem Verkehrskollaps. Die Folgen sind Staus, Luftverschmutzung, klimaschädliche Emissionen sowie massive wirtschaftliche und gesundheitliche Schäden. Der Verkehrssektor verursacht weltweit ca. ein Viertel der energiebezogenen Treibhausgasemissionen [1]. Bis 2050 könnte der Anteil auf 70 % ansteigen [2].

Die globale Herausforderung besteht darin, die Emissionen des Verkehrssektors deutlich zu reduzieren und gleichzeitig einen steigenden Mobilitätsbedarf zu decken. Dazu bedarf es einer globalen Verkehrswende, die auf zwei Säulen ruht: einer Mobilitätswende und einer Energiewende im Verkehr.

Die Mobilitätswende setzt vor allem auf eine Veränderung der Nachfrage nach Mobilität und ein verändertes Mobilitätsverhalten und ist Teil eines gesellschaftlichen Transformationsprozesses. Durch die Vermeidung (z. B. durch integrierte Stadtentwicklung, Home-Office) und Verlagerung des Verkehrs (Stärkung des ÖPNV und der aktiven Mobilität, Multimodalität¹) sinkt der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors.

Die Energiewende im Verkehr hingegen, ist eine technische Herausforderung: Sie bedarf der verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien im Verkehrssektor. Der Elektromobilität kommt dabei eine zentrale Rolle zu, da sie zukünftig vollständig aus erneuerbaren Energiequellen gespeist werden könnte. Dadurch bietet E-Mobilität die Möglichkeit zukünftig auf fossile Kraftstoffe zu verzichten. Neben der effizienten Nutzung elektrischer Antriebsenergie ermöglicht sie zudem lokal abgasfreie Mobilität. Für die notwendige Dekarbonisierung des Verkehrssektors wird E-Mobilität in verschiedenen Formen (Züge, Elektrobusse, Elektrofahrräder, Elektro-Rikschas,

¹ Strategie, um Verkehr stadtverträglicher zu machen. Multimodaler Verkehr meint die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel für unterschiedliche Wege. Weitere Infos: <https://dif.u.de/nachricht/was-ist-eigentlich-intermodaler-und-multimodaler-verkehr>

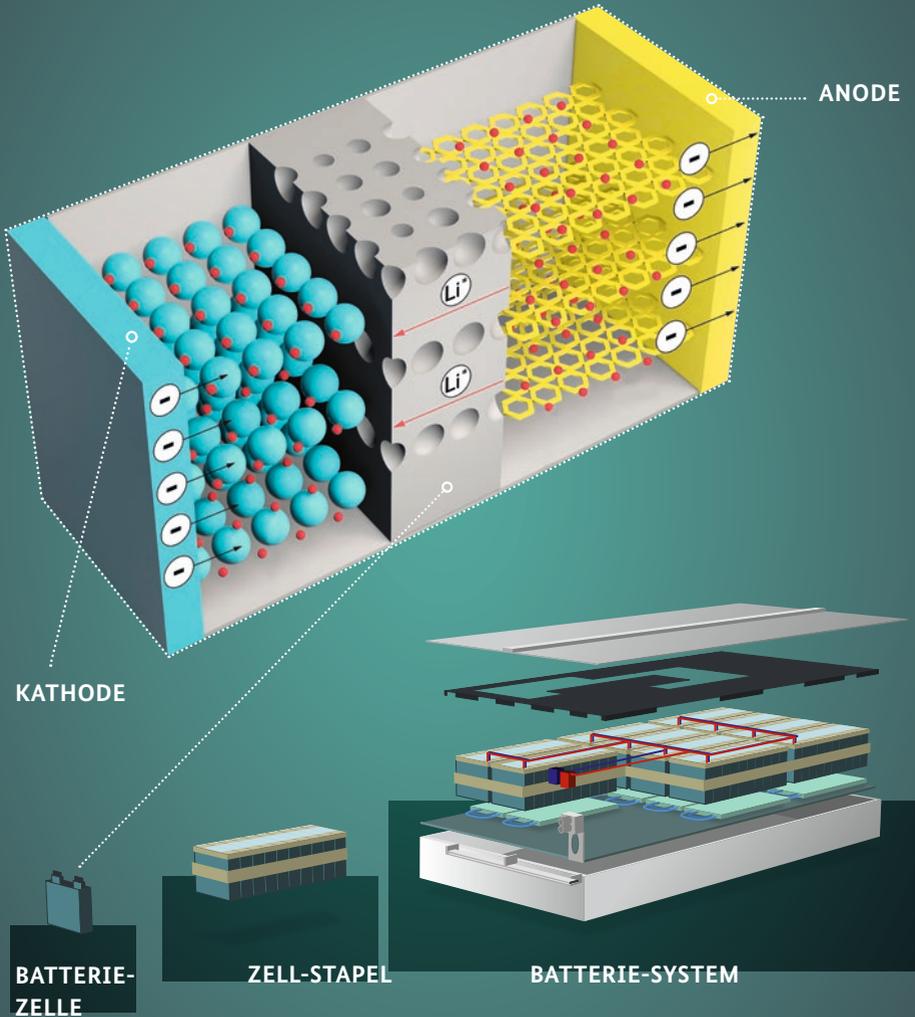
E-Autos etc.) verstärkte Anwendung finden. Ohne Rohstoffe ist keine E-Mobilität möglich. Da für die E-Mobilität auf Basis von Lithium-Ionen-Batterien zusätzliche Rohstoffe als für Autos mit Verbrennungsmotor benötigt werden, ist die E-Mobilität vom Rohstoffsektor abhängig. Hieraus ergeben sich neue Herausforderungen für die globalen Lieferketten.

Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Nickel, Graphit, Aluminium, Zinn, Mangan und Kupfer werden unter anderem für die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien, dem Antrieb der E-Mobilität, verwendet. Die Produktion dieser Rohstoffe ist mit verschiedenen sozialen und ökologischen Risiken verbunden. Nach dem Einsatz der Batterien in Fahrzeugen stellt sich die Frage nach einem „Second Life“ der Batterien. Es gilt, Batterien zu recyceln bzw. umweltfreundlich zu entsorgen. Um die Ressourcenintensität zu reduzieren sowie den Rücklauf von wichtigen Sekundärressourcen in der Produktion sicherzustellen, muss der gesamte Lebenszyklus vom Design über Nutzung zur Sammlung und Entsorgung zukünftig stärker mitgedacht werden.

Die vorliegende Broschüre zeigt auf, welche Rohstoffe in E-Batterien enthalten sind, in welchen Ländern und unter welchen Bedingungen sie produziert und weiterverarbeitet werden und welche Chancen und Risiken sich für den Rohstoffsektor in Entwicklungs- und Schwellenländern durch das starke Wachstum der Elektromobilität ergeben.



AUFBAU DES BATTERIE-SYSTEMS



KATHODE

ANODE

BATTERIE-ZELLE

ZELL-STAPEL

BATTERIE-SYSTEM

Abbildung 1: Die Grundlage aller modernen Batterien bilden mineralische Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan und Graphit. In der E-Mobilität haben sich zwei Arten von Lithium-Ionen-Batterietypen bis heute durchgesetzt, die sich vor allem in der Zusammensetzung der Kathoden unterscheiden: Nickel-Kobalt-Aluminium (NCA) und Nickel-Mangan-Kobalt (NMC).

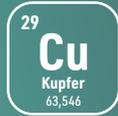
Wie ist eine Lithium-Ionen-Batterie im Elektroauto aufgebaut?

Lithium-Ionen-Batterien² sind wiederaufladbare elektrochemische Energiespeicher. Die Lebensdauer einer Batterie wird mit der Anzahl von Ladezyklen angegeben. Die meisten Batterietypen bestehen aus mehreren Zellen, um die Leistung der Batterie zu erhöhen. Eine einzelne Zelle besteht aus zwei Elektroden: der negativ geladenen Anode und der positiv geladenen Kathode. Die Elektroden bestehen aus einem Stromableiter (z. B. beschichtete Kupferfolie) und einem Aktivmaterial. Das Aktivmaterial ist bei Lithium-Ionen-Batterien variabel, es gibt verschiedene Kombinationen. Am verbreitetsten ist die Kombination aus Graphit (Anode) – und Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) (Kathode).

In der Kathode der NMC111-Batterie³ mit 30 kWh Leistung, welche häufig in üblichen Mittelklassewagen verbaut sind, stecken 11 Kilogramm Mangan, 4,5 Kilogramm Lithium und jeweils 12 Kilogramm Kobalt und 12 Kilogramm Nickel [3].

² Im Folgenden mit „Batterie“ abgekürzt.

³ In einer NMC111-Kathode stehen Nickel, Mangan und Kobalt in einem Verhältnis von ~1:1:1, in einer NMC811-Kathode ist das Verhältnis ~8:1:1.



Zukünftiger Rohstoffbedarf

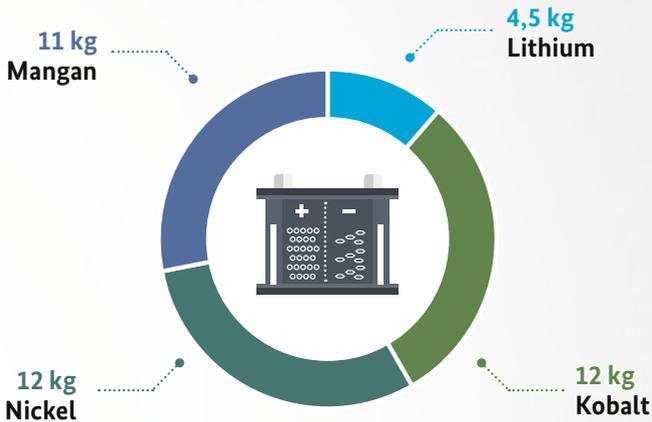


Abbildung 2: In der Kathode enthaltene Rohstoffe der NMC111-Batterie mit einer Leistung von 30 kWh.

Die Nachfrage nach Elektromobilität nimmt rasch zu. Die Verkäufe von Elektroautos stiegen 2019 weltweit auf über 2,1 Millionen und machen damit einen Anteil von 2,6% der weltweiten Autoverkäufe aus. Für Deutschland hat die Bundesregierung für 2030 das Ziel von sieben bis zehn Millionen zugelassenen Elektrofahrzeugen ausgegeben und unterstützt dieses Ziel vor allem mit finanziellen Anreizen (Kaufprämien) sowie mit Investitionen in die Ladeinfrastruktur [4]. Der Gesamtbestand beläuft sich derzeit – Ende 2020 – auf weltweit etwa 7,2 Millionen; das entspricht einem Anteil von rund 1% an der Gesamtzahl aller Autos. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet das einen Anstieg von 40% [5]. Aufgrund der Klimaschutzziele ist davon auszugehen, dass es beim Bestand der Elektroautos weiter hohe Zuwachsraten geben wird. Mehr Elektroautos bedeutet jedoch auch einen geänderten Rohstoffbedarf für deren Produktion. Genaue Berechnungen des künftigen Rohstoffbedarfs sind jedoch schwer zu treffen, da diese sowohl von Batteriegröße, den Anteilen der Kathodentypen als auch technischen Innovationen abhängen. Für die Rohstoffe Kobalt und Lithium geht die DERA (Deutsche Rohstoffagentur) davon aus, dass sich die Nachfrage nach Kobalt von 110.000 t (2017) auf bis zu 225.000 t (2025) mehr als verdoppeln konnte. Für Lithium könnte die Nachfrage von 35.000 t (2015) auf bis zu 224.000 t (2025) um das sechsfache ansteigen [6] [7].



Abbildung 3: Wenn auch die lokale Bevölkerung vor Ort vom Rohstoffabbau profitiert, kann das Potenzial des Rohstoffsektors besser genutzt und eine nachhaltige Entwicklung im Sinne der Agenda 2030 erreicht werden.

Rohstoffe und nachhaltige Entwicklung

In vielen Entwicklungs- und Schwellenländer kann die Förderung von Rohstoffen einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten. So führt der Rohstoffsektor zu mehr Staatseinnahmen und schafft neue Arbeitsplätze. Trotzdem gelingt es vielen Ländern noch zu wenig, von ihrem Rohstoffreichtum zu profitieren. Wie können sie das Potenzial des Rohstoffsektors besser nutzen und eine nachhaltige Entwicklung im Sinne der Agenda 2030 erreichen?

Das gelingt nur, wenn auch die lokale Bevölkerung vor Ort vom Rohstoffabbau profitieren kann – die Verteilung von Lasten und Nutzen durch den Rohstoffabbau sollte gerecht sein. Dies kann durch lokale Wertschöpfung, Transparenz sowie faire Löhne erreicht werden. Darüber hinaus sollte der Rohstoffabbau umwelt- und klimaverträglich sein. Der Rohstoffsektor muss so gesteuert werden, dass Verstöße gegen Menschenrechte sowie negative Auswirkungen auf Umwelt, Frieden und Sicherheit verhindert werden. Dies sind Fragen der Bergbauaufsicht und des gesetzlichen Rahmens, die auch von den generellen lokalen Rahmenbedingungen abhängen.

Gut umgesetzt, kann der Rohstoffsektor einen Beitrag zur Erreichung vieler Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals, SDGs) leisten:



Der Rohstoffsektor kann einen Beitrag zur Beendigung von Armut leisten (SDG 1).



Moderne, nachhaltige Technologien (z. B. erneuerbare Energietechnologien oder Elektroautos) benötigen in ihrer Herstellung eine Vielzahl an Rohstoffen. Dies trägt zu (SDG 7) – Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle bei.



Stärkung lokaler Wertschöpfung, um damit nachhaltiges Wirtschaftswachstum und menschenwürdige Arbeit für alle zu befördern (SDG 8).



Der Bergbau kann dazu beitragen, die wirtschaftliche Entwicklung durch die Förderung neuer Infrastrukturen für Verkehr, Kommunikation, Wasser und Energie voranzutreiben (SDG 9).



Schaffung nachhaltiger und fairer Rohstofflieferketten (SDG 12).



Einsatz erneuerbarer Energien im Bergbau, auch zur Versorgung umliegender Gemeinden (SDG 13).



Mobilisierung von Eigeneinnahmen, die für die nachhaltige Entwicklung von Produktionsländern genutzt werden können (SDG 17).

Allerdings geht der Bergbau insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern noch immer mit sozialen und ökologischen Risiken einher:



Für die Bergleute bestehen Gefährdungen der Gesundheit, wenn Arbeitssicherheitsmaßnahmen nicht eingehalten werden (SDG 3).



Teilweise gibt es im Kleinbergbau Kinderarbeit. Anstelle von Schulbesuchen verhindert sie das Ziel der Bildung für alle (SDG 4).



Strukturelle Geschlechterungerechtigkeit im Bergbau untergräbt (SDG 5) die Gleichberechtigung der Geschlechter.



Bergbau birgt große Risiken für den Schutz von Landökosystemen (SDG 15).



Korruption und Konfliktfinanzierung aus Abbau und Rohstoffeinnahmen gefährden das Ziel Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen (SDG 16).



Abbildung 4: Skyline von Santiago de Chile mit modernen Bürogebäuden im Finanzviertel von Las Condes.

Trotz aller Risiken und Herausforderungen kann Rohstoffreichtum sich sehr positiv auf die wirtschaftliche Entwicklung von Ländern auswirken. Botswana war beispielsweise eines der ärmsten Länder der Welt, konnte sich jedoch durch die Einnahmen aus dem Abbau von Diamanten und anderen Rohstoffen wirtschaftlich stark entwickeln. Die Einnahmen aus dem Rohstoffsektor konnten unter anderem dazu genutzt werden, das Bildungs- und Gesundheitssystem des Landes stark auszubauen. Auch Chile konnte durch den Bergbausektor von einem Entwicklungsland zu einem OECD-Land werden.



Abbildung 5: Das neue zentrale Geschäftsviertel in Gaborone, Botswana.

Der Bergbausektor ist in Bezug auf Minengröße und dem Grad der Mechanisierung des Abbaus unterschiedlich. Generell wird zwischen **Kleinbergbau**, im englischen artisanal and small-scale mining (ASM) und **industriellem Großbergbau**, im englischen large-scale mining (LSM) unterschieden.

Kleinbergbau hat häufig einen sehr niedrigen oder gar keinen Mechanisierungsgrad und wird teilweise mit rudimentären Werkzeugen (Spitzhacke, Hammer und Waschpfannen) betrieben. Nach Schätzungen der Weltbank arbeiten weltweit circa 40 Millionen Menschen im Kleinbergbau [8]. Die im Kleinbergbau abgebauten Rohstoffe sind zahlreich: Baurohstoffe, Edelsteine & Diamanten, Kobalt – um nur einige Beispiele zu nennen. Der Hauptfokus liegt jedoch auf dem Abbau von Gold, bei dem weltweit 15-20 Millionen Menschen arbeiten, allerdings häufig illegal oder informell. Der Kleinbergbausektor hat daher eine hohe entwicklungspolitische Relevanz, welche mit Risiken, Herausforderungen aber auch mit Potentialen für die Entwicklungszusammenarbeit verbunden ist.

Industrieller Großbergbau hingegen hat einen hohen Mechanisierungsgrad und wird von – teilweise multinationalen – Unternehmen durchgeführt. Die Anzahl beschäftigter Menschen ist im Gegensatz zum Kleinbergbau zwar geringer, jedoch für viele Regionen von essentieller Bedeutung. In vielen Ländern, insbesondere in Afrika, liefert der Bergbausektor zudem einen signifikanten Beitrag zum BIP und finanziert über Steuereinnahmen einen großen Teil der Staatshaushalte vieler Regierungen. Es gibt jedoch andererseits auch Risiken der Korruption und Steuer-
vermeidung.



Abbildung 6: Kleinbergbau in der Region Kono, Westafrika.



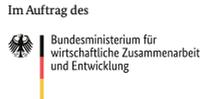
Abbildung 7: Industrieller Kupfertagebau Centinela in der Region Antofagasta in Chile.



Abbildung 8: Kleinbergbau ist in vielen Regionen Afrikas von hoher wirtschaftlicher Bedeutung für die lokale Bevölkerung wie hier in Kono, Westafrika.

Übersicht: EZ-Aktivitäten im Rohstoffsektor

Sektorale Aktivitäten



Sektorprogramm Rohstoffe und Entwicklung

Durchgeführt von:



Im Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) wird das Sektorprogramm Rohstoffe und Entwicklung von der BGR und der GIZ gemeinsam umgesetzt. Politikberatung ist die Kernaufgabe des Vorhabens. Gemeinsam beraten GIZ und BGR das BMZ sowohl bei kurzfristigen Anfragen zu tagesaktuellen Themen als auch bei der Analyse von Trends in der internationalen Debatte einer verantwortungsvollen Rohstoffwirtschaft. Zudem entwickelt das Vorhaben, gemeinsam mit Auslandsprojekten und weiteren Partnern in Ländern der deutschen EZ, neue Ansätze, um den Rohstoffsektor nachhaltiger zu gestalten.

CONNEX Support Unit



Die CONNEX Support Unit, Umsetzungsstruktur der G7 CONNEX Initiative und angesiedelt bei der GIZ, unterstützt Entwicklungs- und Schwellenländer global bei der Verhandlung komplexer Investitionsverträge. Fair verhandelte Investitionsverträge im Rohstoffsektor sind eine wichtige Grundlage für Staatseinnahmen. Vielen Entwicklungsländern gelingt es nur selten, eine faire Beteiligung an den Einnahmen zu verhandeln. Hintergrund ist ein Ungleichgewicht an Kapazitäten und Erfahrung in komplexen Vertragsverhandlungen zwischen internationalen Investoren und Regierung.



Extractive Industries Transparency Initiative (EITI)

Die EITI ist eine globale Initiative, mit der dem „Rohstoff-Fluch“ durch Finanztransparenz und Rechenschaftspflicht begegnet werden soll. Die EITI wurde 2002 gegründet und wird mittlerweile in 55 Ländern implementiert (Stand 03/2021). Die teilnehmenden Länder legen jährlich Informationen über Steuerzahlungen, Lizenzen, Fördermengen und weitere wichtige Daten rund um die Förderung von Öl, Gas und mineralischen Rohstoffen offen. EITI wird in freiwilliger Selbstverpflichtung von den Regierungen getragen und in den Mitgliedsländern gemeinsam von staatlichen und zivilgesellschaftlichen Akteuren sowie von großen Unternehmen und Kapitalanlegern umgesetzt (Multi-Stakeholder-Prozess).

European Partnership for Responsible Minerals (EPRM)



Die EU-Verordnung zu Sorgfaltspflichten für Rohstoffe aus Konflikt- & Hochrisikogebieten ist 2017 in Kraft getreten. Sie verpflichtet ab 2021, Importeure von Zinn, Tantal, Wolfram und Gold nachzuweisen, dass ihre Metalle und Minerale aus verantwortungsvollen Quellen stammen. Die EPRM ist eine entwicklungspolitische Begleitmaßnahme zur EU-Verordnung. Die EPRM fördert innovative Projekte im Kleinbergbau in Abbauländern und unterstützt Unternehmen bei der Umsetzung von Sorgfaltspflichten. Außerdem stärkt sie den Dialog, die Vernetzung und den Wissenstransfer zwischen den Akteuren der Lieferketten im Rohstoffbereich.

Bilaterale/regionale Aktivitäten

Demokratische Republik Kongo: Bilaterale Projekte für einen verantwortungsvolle Rohstoffsektor



Die deutsche EZ (BGR und GIZ) unterstützt kongolesische Partner bei der Erschließung des Rohstoffsektors als Treiber nachhaltiger wirtschaftlicher Entwicklung im Land.

Sie fördert auch die Transparenz und öffentliche Teilhabe im Rohstoffsektor.

- Die BGR kooperiert mit kongolesischen Partnern bei Maßnahmen zur Eindämmung der Konfliktfinanzierung aus Rohstoffförderung und -verkauf sowie zur Verbesserung der Lebenssituation im Kleinbergbau. Die BGR unterstützt die Umsetzung des Certified Trading Chains (CTC) Zertifizierungssystems für den verantwortungsvollen Kleinbergbau für die Rohstoffe Zinn, Tantal, Wolfram und Gold. Eine Anwendung des CTC für den Kobaltsektor ist in Vorbereitung.
- Das Projekt der GIZ unterstützt verschiedene öffentliche und private Akteure dabei, das Potenzial des Bergbausektors in der DR Kongo voll zu entfalten. Beispielsweise durch Verbesserung von Ausbildung, Beschäftigung und Professionalisierung.

Stärkung des öffentlichen Managements des Bergbausektors in Mosambik II



Das von der BGR in Mosambik durchgeführte TZ-Vorhaben stärkt die fachlichen Kompetenzen des Ministeriums für mineralische Rohstoffe und Energie und der zugehörigen Behörden.

Programm Unterstützung der Internationalen Konferenz der Region der Großen Seen (ICGLR)



BGR Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

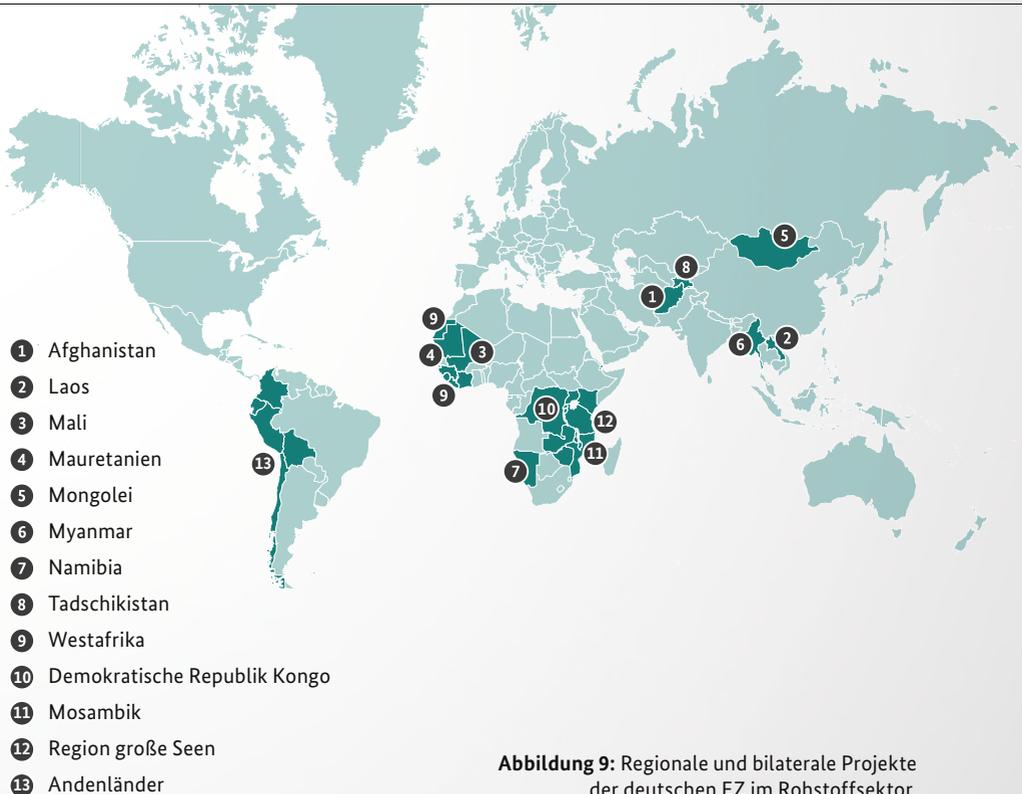
Die Region der Großen Seen umfasst die Länder Angola, Burundi, Kenia, Demokratische Republik Kongo, Republik Kongo, Ruanda, Sambia, Sudan, Süd-Sudan, Tansania, Uganda, und Zentralafrikanische Republik. Die Region ist reich an mineralischen Rohstoffen, die für die Weltwirtschaft von großem Interesse sind. Die illegale Ausbeutung und der Handel mit diesen Rohstoffen verstärken lokale politische Konflikte zusätzlich. Das Programm, das gemeinsam von BGR und GIZ durchgeführt wird, hat das Ziel, den Handel mit illegal abgebauten Rohstoffen in den Unterzeichnerstaaten der ICGLR einzudämmen.

- Die GIZ unterstützt das Konferenzsekretariat der ICGLR bei regionalen Abstimmungsprozessen rund um die Umsetzung der ICGLR- Rohstoffinitiative (Regional Initiative against the Illegal Exploitation of Natural Resources, RINR).
- Das BGR-Modul wiederum stärkt auf nationaler Ebene die fachlichen Kompetenzen der zuständigen Behörde. Die BGR entwickelt z.B. zusammen mit dem ICGLR-Sekretariat einen Herkunftsnachweis für bestimmte mineralische Rohstoffe (Analytical fingerprint).

Regionale Kooperation zur nachhaltigen Gestaltung des Bergbaus in den Andenländern (MinSus)



Das Programm, das von der BGR und der GIZ durchgeführt wird, fördert internationale Standards zur Entwicklung verantwortungsvoller Bergbaupraktiken, die zur Klima-Agenda auf internationaler Ebene und zur Erreichung der SDGs auf lokaler Ebene beitragen. Dies geschieht durch die Umsetzung von Pilotprojekten und dem Austausch von Erfahrungen zwischen den regionalen Partnern.



Rohstoff-Lieferketten

Rohstoff-Lieferketten für die Produktion von E-Autos sind oft weit verzweigt und global. Bis das E-Auto zu den Konsument*innen gelangt, sind eine Vielzahl von Menschen und Unternehmen in unterschiedlichen Ländern an der Herstellung beteiligt. Innerhalb von Rohstoff-Lieferketten wird in Upstream und Downstream unterschieden: Der Upstream der Lieferkette beschreibt den Abbau des Rohstoffs und dessen Transport bis zur Verarbeitung und Aufbereitung, beispielsweise in einer Raffinerie. Der Downstream der Lieferkette beschreibt die Lieferkette in der Produktion des Endprodukts.

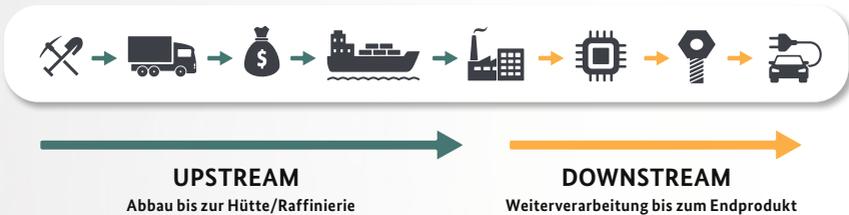
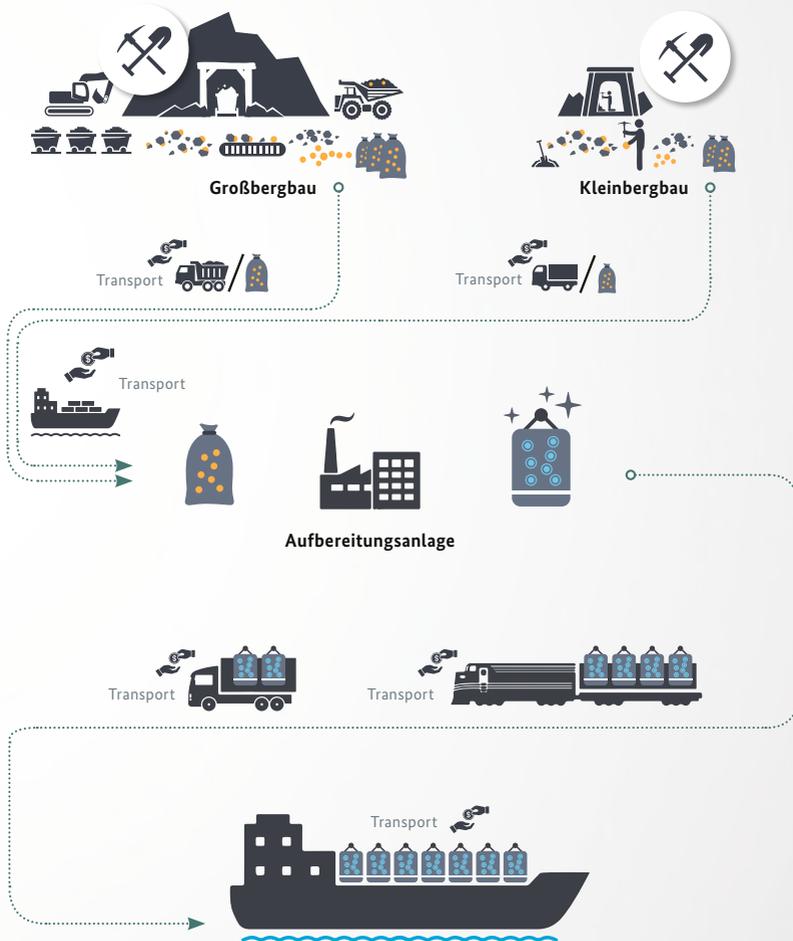


Abbildung 10a: Exemplarische Erklärung von Upstream und Downstream.

Im Kleinbergbau kann die Nachverfolgung von Rohstoffen im Upstream von Lieferketten schwierig sein, wenn es viele Produzenten und Zwischenhändler gibt.

Abbildung 10b: Exemplarische Rohstofflieferkette aus industriellem Großbergbau und Kleinbergbau.



13

Al

Aluminium

26,982



Abbildung 11: Guinea ist einer der größten Exporteure des Aluminiumerzes Bauxit.

Aluminium & Aluminiumerze (Bauxit)

Top Abbauländer [29]

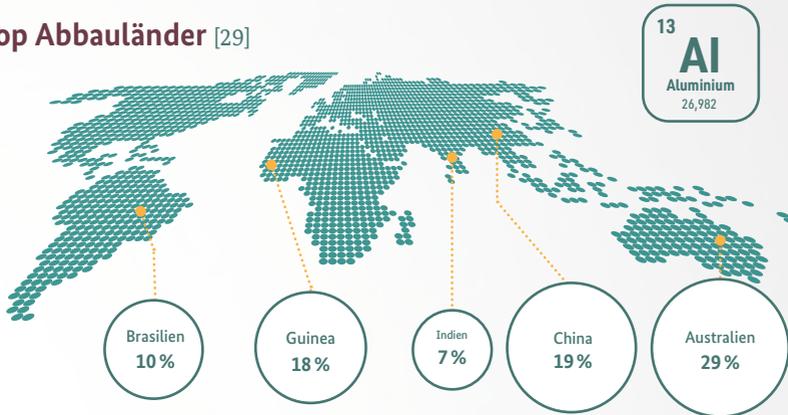


Abbildung 12: Bauxit wird hauptsächlich im Großbergbau gefördert. Aus Bauxit wird Aluminiumdioxid gewonnen, das zu Primäraluminium verhüttet wird.

Lieferkette

Bauxit wird hauptsächlich im Großbergbau gefördert und die verschiedenen Aufbereitungsstufen sind eng miteinander verflochten. Daher ist die Bauxit-/ Aluminium-Lieferkette vergleichsweise leicht nachzuverfolgen. Die größten Akteure im Upstream-Bereich sind Australien, China und Guinea. Zudem sind Guinea und Australien mit Anteilen von 50 % und 20 % die weltweit größten Exporteure des wichtigsten Aluminiumerzes Bauxit (Stand 2018) [9].

Im Midstream-Bereich wird aus Bauxit Aluminiumoxid gewonnen, das zu Primäraluminium verhüttet wird. Beides findet größtenteils in Ländern statt, die sich durch günstige Energiekosten und gute Transportinfrastruktur auszeichnen. Sowohl die Gewinnung von Aluminiumoxid als auch die Aluminiumproduktion finden mit einem weltweiten Anteil von 55 % bzw. 56 % überwiegend in China statt (vgl. Abb. 12 oben und 13; Seite 36). Aber auch Indien, die Vereinigten Arabischen Emirate, Kanada und die Russische Föderation sind bedeutende Akteure im Midstream-Bereich [10] [11]. Im Downstream-Bereich findet Primäraluminium als Leichtmetall und Bestandteil von Legierungen Verwendung. Mit rund 16 % der globalen Importe waren 2018 die USA Hauptabnehmer von nicht-legiertem Primäraluminium. Deutschland belegt beim Export und Import von Aluminiumhalbzeug jeweils Plätze unter den Top-3 [12] [11] [13] [14] (Stand 2018).

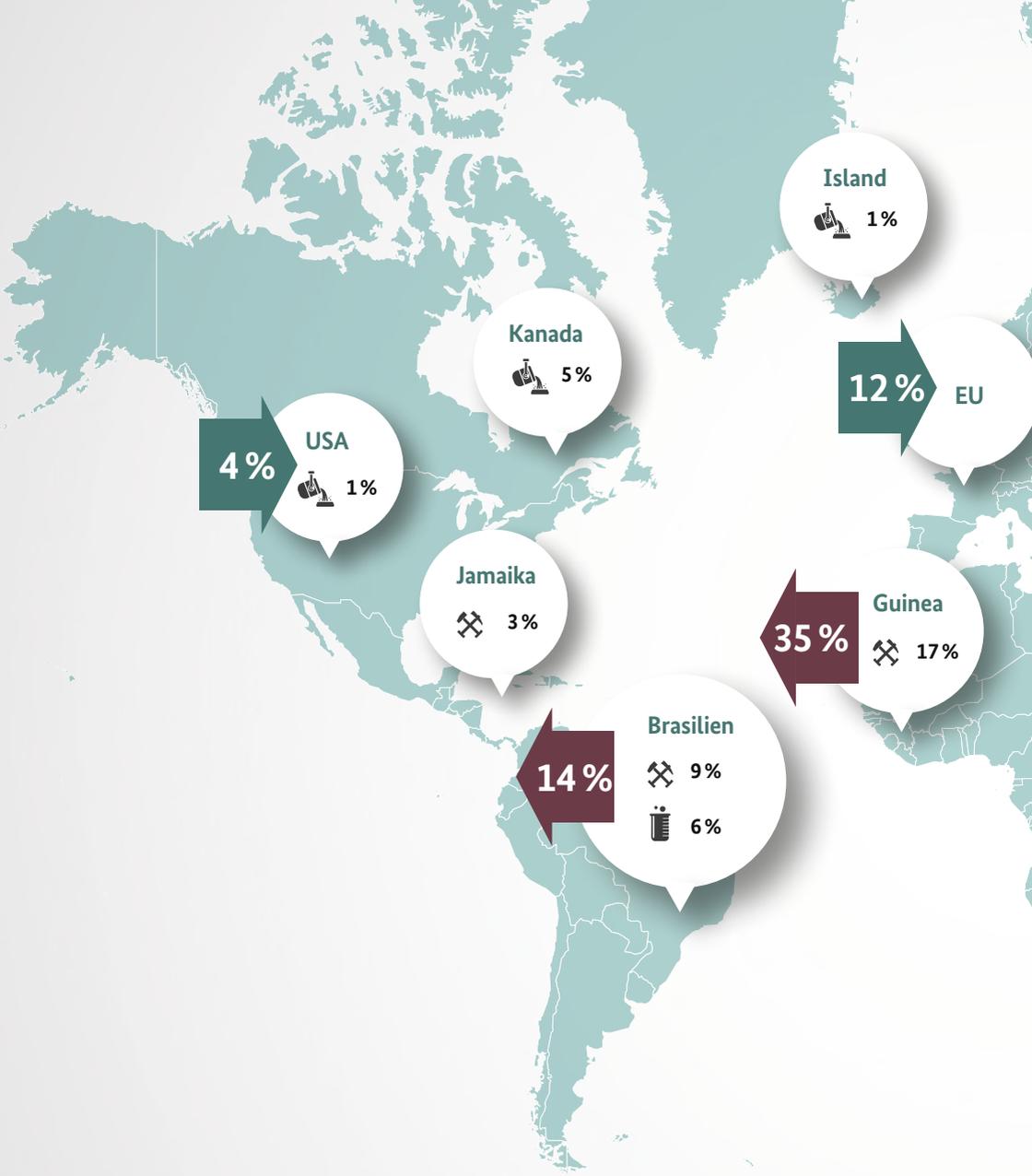
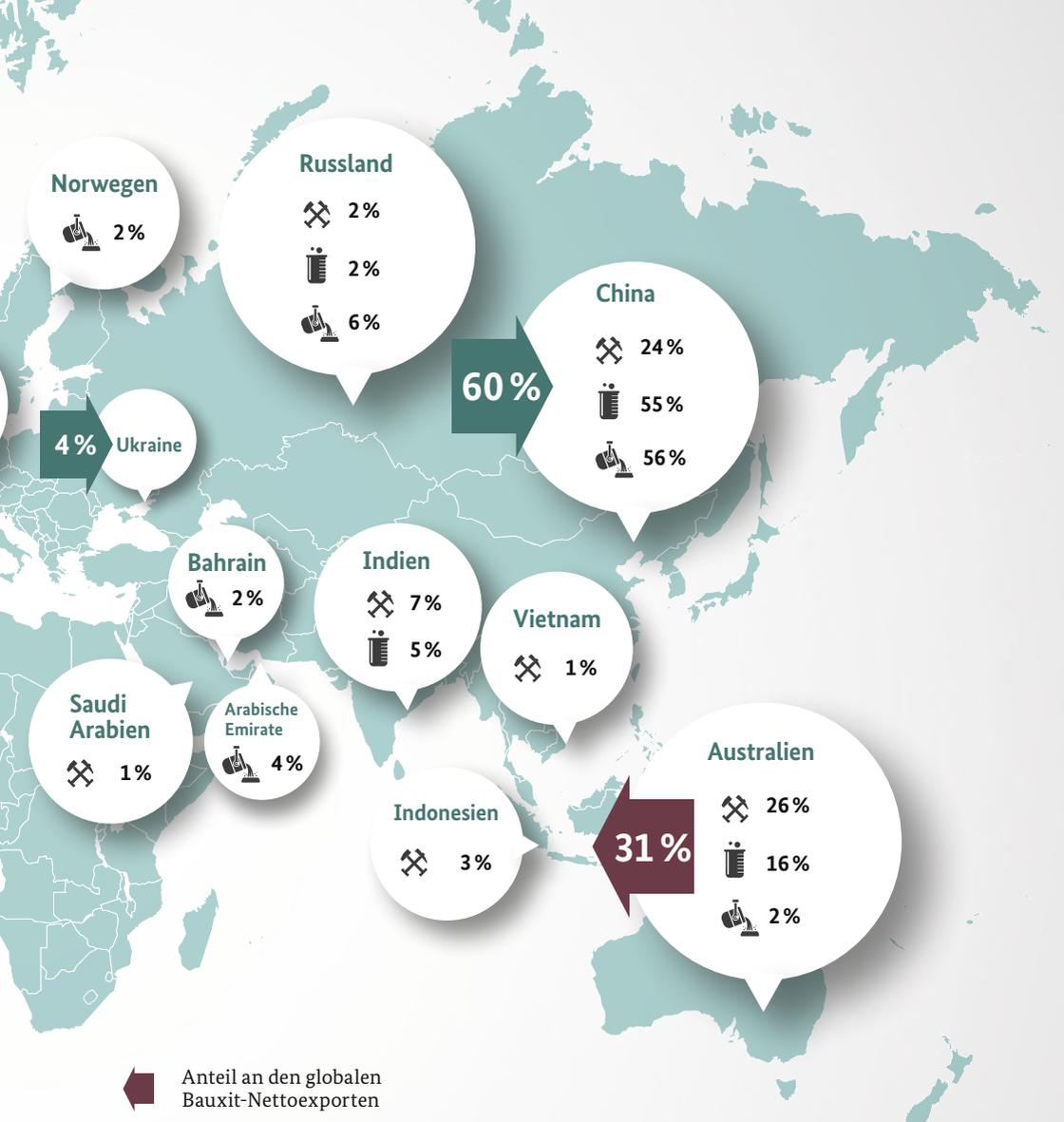


Abbildung 13 (schematisch): weltweiter Handel und Produktion von Aluminium (-erzen).



-  Anteil an den globalen Bauxit-Nettoexporten
-  Anteil an den globalen Bauxit-Nettoimporten
-  Anteil an der globalen Bauxitproduktion
-  Anteil an der globalen Aluminiumoxidproduktion
-  Anteil an der globalen Schmelzproduktion

Globale Importe und Exporte Aluminium & Bauxit

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf USGS 2020 für die globale Bauxit-, Aluminiumoxid- und Schmelzproduktion 2018, DERA 2019 für die globalen Nettoexporte, oec.world für die globalen Nettoimporte 2017

Beitrag zu den Zielen für Nachhaltige Entwicklung



Beschäftigungspotenzial in ländlichen Regionen.



Potenzieller Aufbau von Infrastruktur durch Bergbau und assoziierte Wirtschaftszweige.



Die hohe Recycling-Rate von Aluminium und aluminiumhaltigen Produkten trägt (bereits) zu nachhaltiger Produktion und nachhaltigem Konsum bei.



Als Leichtmetall im Transportsektor Faktor zur Abschwächung des Klimawandels.





Entwicklungspolitische Risiken

Gesundheit:

Gesundheitliche Risiken können durch fehlenden Arbeitsschutz sowie Luftverschmutzung durch Staub entstehen [18] [17] [19].

Umwelt:

Durch große Flächeninanspruchnahme kann es zur Entwaldung kommen. Zudem können bei nicht sachgemäßer Handhabung Sickerwasser und Rotschlamm aus Schlammrückhaltebecken und Halden umliegende Ökosysteme belasten [20] [18].

Soziale Risiken:

Im Rahmen von Bergbauprojekten kann es vereinzelte (Zwangs-)Umsiedlungen geben [15]. Zudem kann es zu Wasser- und Landkonflikten im Kontext von Bauxit-Bergbau in ariden oder semiariden Gebieten kommen [16] [17].

Klima:

Die Herstellung von Primäraluminium ist äußerst energieintensiv, variiert jedoch weltweit stark: So ist der Energieverbrauch bei der Produktion von 1 t Primäraluminium in China (durchschnittlich 21,6 t CO₂-Äquivalent) ungleich höher als in Europa (durchschnittlich 9,7 t CO₂-Äquivalent) [21].

Mit einem Stromverbrauch von ca. 15 MWh. Strom (entspricht ungefähr dem 5-Jahresverbrauch eines 2-Personen-Haushalts) pro Tonne Aluminium hat das energetisch aufwendige Elektrolyseverfahren den größten Energiebedarf im Herstellungsprozess [22].

Beispiele für Aktivitäten der deutschen EZ

Entwicklung eines Kompensationsstandards für den Bergbau und Förderung von community-based monitoring im Rahmen des GIZ-Projektes „Regionale Rohstoff-governance in Westafrika“ mit direktem Bezug zur Bauxitförderung in Guinea.

Interessante Short Facts [23] [24]



The infographic features a world map in the background. In the center, there is a white-bordered box containing the element information for Aluminium: the atomic number 13, the symbol Al, the name Aluminium, and the atomic weight 26,982.

- Aluminium ist das am häufigsten vorkommende metallische Element auf der Erde. Es macht ca. 8% des Gewichts der Erdkruste aus. Allerdings kann ein großer Teil davon nicht wirtschaftlich abgebaut werden.
- Obwohl Aluminium oxidiert, rostet es nicht wie Eisen, da das resultierende Aluminiumoxid an der Oberfläche des Metalls eine Schicht bildet, die vor der weiteren Oxidierung schützt.
- Reines Aluminiummetall kommt in der Natur nicht vor.
- Aluminium reflektiert rund 98% der Infrarotstrahlen.
- Das Recycling von Aluminium verbraucht nur 5% der Energie, die zur Gewinnung von Primäraluminium aus Erzen benötigt wird.



Abbildung 14: Bauxitabbau in Waiparua, Australien.

6

C

Kohlenstoff

12,0107

Abbildung 15: Graphit wird sowohl im Tagebau als auch Untertage abgebaut.

Graphit

Top Abbauländer Naturgraphit [25]

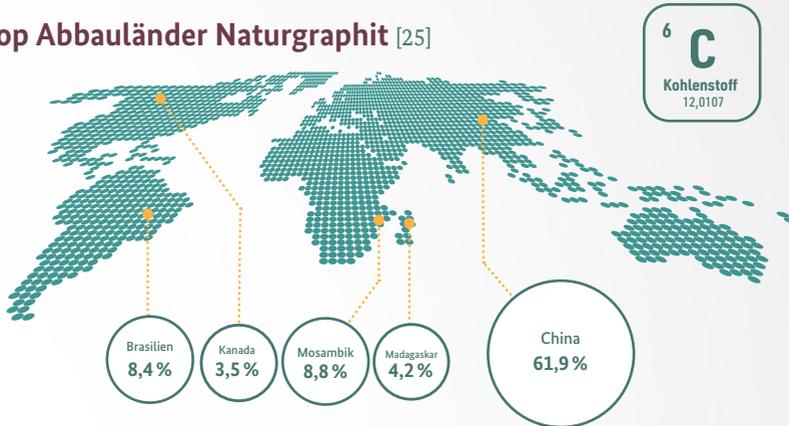


Abbildung 16: China dominiert im Abbau von natürlichem Graphit. Zukünftig könnten einige afrikanische Länder an Bedeutung im Graphitabbau gewinnen.

Lieferkette

Für den Graphitmarkt sind zwei Quellen entscheidend:

1. natürlicher Graphit aus dem Bergbau
2. synthetischer Graphit aus der thermo-chemischen Umwandlung von Kohlenstoffen, beispielsweise aus Nebenprodukten der Erdölraffination.

In der Batterieproduktion werden natürlicher und synthetischer Graphit eingesetzt. Meist wird ein Mix der beiden Graphittypen verwendet. Synthetischer Graphit ist von höherer Qualität, die Qualität von natürlichem Graphit kann jedoch durch verschiedene Aufbereitungsverfahren verbessert werden. China dominiert den Weltmarkt seit Jahren bei der Förderung von natürlichem Graphit.

Graphit wird für die Produktion der Anoden verwendet. Entweder wird das Anodenmaterial direkt in China in Batterien eingesetzt oder nach Südkorea und Japan exportiert, wo andere führende Batterieproduzenten aktiv sind. Die weltweit größten Importländer im Jahr 2017 waren Japan, die USA, Südkorea, Deutschland und China [26].

In den letzten Jahren gab es erhöhte Explorationsbemühungen außerhalb Chinas. Insbesondere in Mosambik und Tansania gibt es große Reserven und Ressourcen, die teilweise schon abgebaut werden, die Produktion könnte hier in Zukunft aber noch steigen.

Beitrag zu den Zielen für Nachhaltige Entwicklung

Der Graphitabbau hat beispielsweise in Mosambik regional eine große wirtschaftliche Bedeutung.



Der industrielle Graphitbergbau kann durch Steuern und Lizenzgebühren zu mehr Staatseinnahmen führen. Diese können richtig eingesetzt einen Beitrag zur Armutsminde- rung leisten.



Beschäftigung in ländlichen Regionen reduziert lokal sogenannte „Landflucht“.



Aufbau von Infrastruktur durch Bergbau und assoziierte Wirtschaftszweige.





Entwicklungspolitische Risiken

Graphitabbau ist mit verschiedenen bergbauspezifischen Risiken verbunden.

Gesundheit:

Graphit ist kein giftiger Rohstoff. Negative Auswirkungen auf die Gesundheit können allerdings durch andere Minerale, die gemeinsam mit Graphit vorkommen oder durch die Inhalation von feinen Graphitpartikeln während des Abbaus und der Weiterverarbeitung verursacht werden [27]. Durch moderne Staubbiederschlagung können Auswirkungen auf die Luftqualität durch Staubemissionen stark gemindert werden. In einigen Ländern, z. B. in Sri Lanka, wird Graphit teilweise in Kleinbergbaubetrieben abgebaut. Hier bestehen typische Probleme des Kleinbergbaus, z. B. hinsichtlich der Arbeitssicherheit.

Umwelt:

Aus China gibt es Berichte, dass schwarzer Staub umliegende Dörfer bedeckt, Trinkwasser kontaminiert und Ernten verdirbt. Insgesamt hat sich die Umweltschutzgesetzgebung und Kontrolle ihrer Umsetzung in China in den letzten Jahren deutlich verbessert. In der Folge konnten die Umweltfolgen des Graphitabbaus reduziert und einige die Umwelt stark belastende Minen geschlossen werden.

Klima:

Die Produktion von synthetischem Graphit erfordert einen hohen Energieeinsatz, dies kann abhängig von der Energiequelle hohe CO₂-Emissionen zur Folge haben [28].

Beispiele für Aktivitäten der deutschen EZ

- Die BGR führt in Mosambik das TZ-Vorhaben „Stärkung des öffentlichen Managements des Bergbausektors in Mosambik II“ durch. Das Vorhaben stärkt die fachlichen Kompetenzen des Ministeriums für mineralische Rohstoffe und Energie und der zugehörigen Institutionen.
- 2019 hat die CONNEX Support Unit in Mosambik bei Vertragsverhandlungen rund um ein Graphitprojekt unterstützt.



The image shows a world map with a callout box over Europe. The callout box contains the atomic number 6, the element symbol C, the name Kohlenstoff, and the atomic weight 12,0107.

- **In Mosambik ist mit dem Bergwerk Balama das Graphitbergwerk mit den aktuell weltweit größten Kapazitäten in Betrieb**
- **Graphit besteht aus reinem Kohlenstoff, ebenso wie Diamanten**
- **Graphit wird auch für sogenannte „Blei“-stiftminen genutzt**



Abbildung 17: Auch in Deutschland wird Graphit abgebaut.

27

Co

Cobalt

58,933



Kobalt

Top Abbauländer [29]

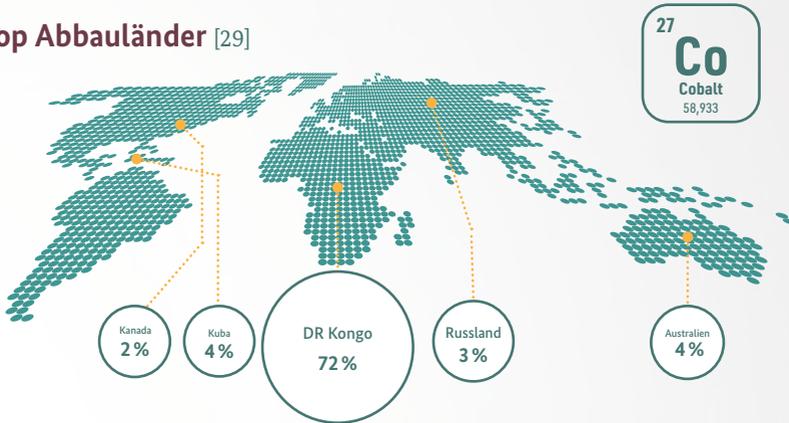


Abbildung 19: Im Jahr 2018 stammten etwa 75 % der weltweiten Produktion von Kobalt aus dem industriellen Abbau. Der Anteil von Kleinbergbau an der Gesamtförderung betrug etwa 13 %.

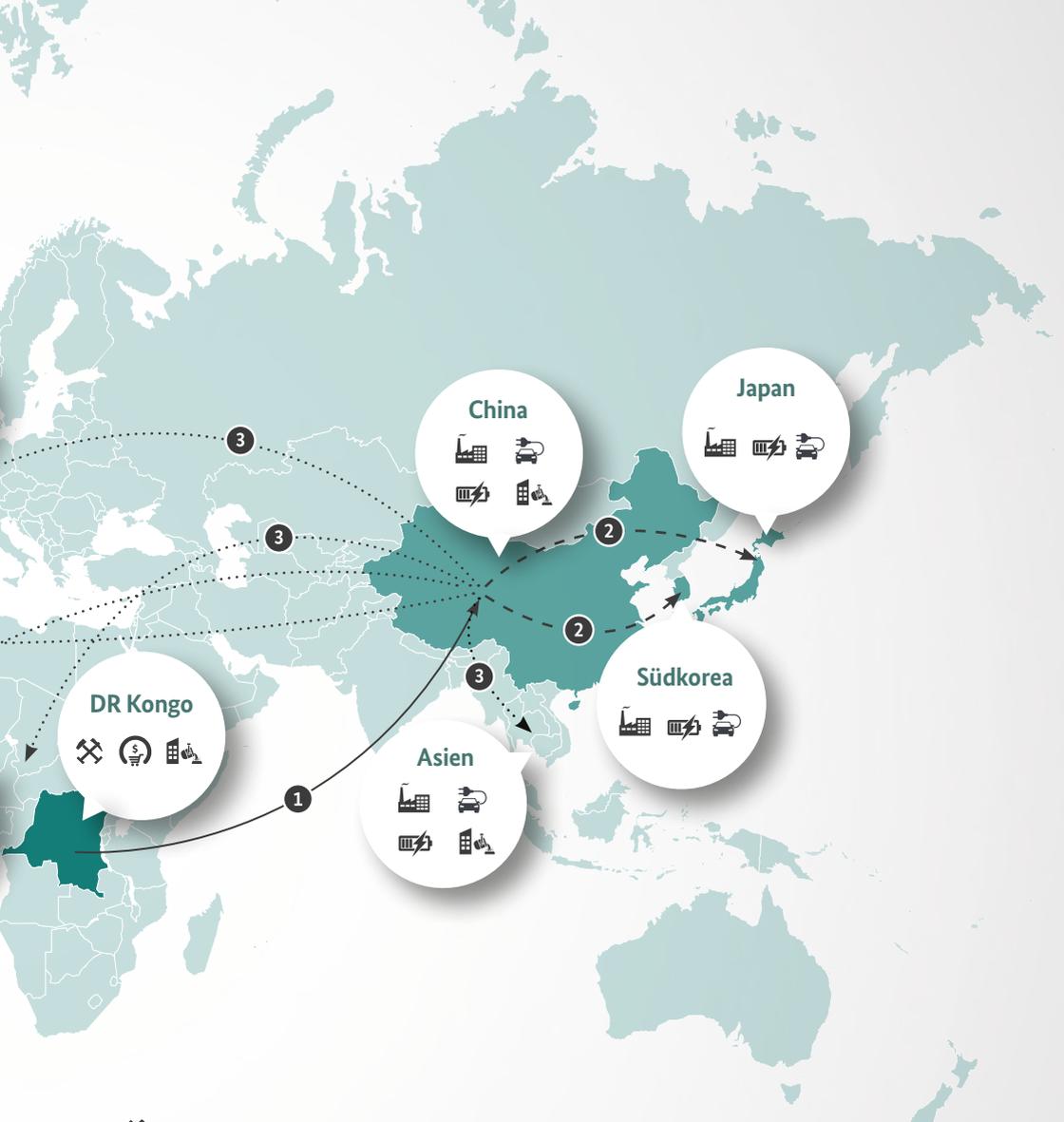
Lieferkette

Kobaltkonzentrate und Zwischenprodukte (Hydroxide), die mit wenigen Ausnahmen stets als Nebenprodukte im Nickel- oder Kupferbergbau gewonnen werden, werden aus der DR Kongo zu einem großen Teil nach China exportiert. Dort finden die Aufarbeitung für die Batterieproduktion und Weiterverarbeitung statt. Die Komponenten der Batterie werden überwiegend in China, Japan und Südkorea hergestellt und zusammengesetzt. Von dort aus gelangen die Batterien auf die Märkte weltweit und werden vorwiegend von Herstellern für Technologieprodukte und der Automobilindustrie verbaut [6].



Abbildung 20: Handelswege von Kobalt aus dem artisanalen Kleinbergbau in der Demokratischen Republik Kongo in den globalen Markt.

- ① — Export von Kobalt aus dem artisanalen und Kleinbergbau nach China zur Aufbereitung.
- - ② - - Kobalt wird in Asien zur Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien genutzt.
- ③ Lithium-Ionen-Batterien werden für E-Autos und andere Technologieprodukte genutzt.



DR Kongo



1

China



2

Japan



Südkorea



Asien



Artisanaler und Kleinbergbau



Handelszentrum



Raffinerie/Verhüttung



Herstellung von Batteriekomponenten



Herstellung der Batterie



Endprodukt

Beitrag zu den Zielen für Nachhaltige Entwicklung



Wert der Gesamtproduktion von Kobalt in der DR Kongo schwankt zwischen: ca. 2 – 3 Milliarden USD.

Beschäftigung von ca. 100.000⁴ Menschen im Kleinbergbau-Sektor und geschätzt weiteren 100.000 Bergleuten im LSM-Sektor als maßgeblicher Beitrag zur Armutsreduzierung.

Beschäftigung in ländlichen Regionen reduziert sogenannte „Landflucht“.

Aufbau von Infrastruktur durch Bergbau und assoziierte Wirtschaftszweige.

⁴ In Boomzeiten bis zu 200.000. Beschäftigungszahlen schwanken stark



Entwicklungspolitische Risiken

Umwelt:

Im Kleinbergbau entstehen Umweltschäden, u.a. durch mangelnde Rekultivierung, auch im industriellen Kobaltabbau (LSM) bestehen Umweltprobleme bei bereits abgeschlossenen Bergbau (Altlasten).

Gesundheit:

Im Kleinbergbau bestehen gesundheitliche Risiken (teilweise tödlich) durch fehlenden Arbeitsschutz

Soziale Risiken:

Im Kleinbergbau kann es zur Verletzung von Menschenrechten kommen, u.a. durch schwerste Formen von Kinderarbeit. Unfaire Bezahlung von Bergleuten ist ein weiteres soziales Risiko im Kleinbergbau. Im industriellen Bergbau bestehen Korruptionsrisiken und es kommt teilweise zu (Zwangs-)Umsiedlungen.

Beispiele für Aktivitäten der deutschen EZ

- Unterstützung von verantwortungsvollem Abbau von Kobalt im Kleinbergbau durch das Projekt „Stärkung der Kontrolle im Rohstoffsektor der DR Kongo III“:
 - Unterstützung von Kobalt-Kooperativen im Kupfergürtel
- Erstellung einer *Studie zur Analyse des artisanalen Kupfer-Kobalt-Sektors in der DR Kongo*.
 - Umsetzung des Certified Trading Chains (CTC) Zertifizierungssystems.



The infographic features a world map with a callout box for Cobalt (Co). The callout box contains the atomic number 27, the chemical symbol Co, the name Cobalt, and the atomic weight 58,933.

- 2019 wurden bereits zwischen 50-60% des abgebauten Kobalts für Batterien verwendet.
- Verschiedene Kobaltchemikalien wurde auf Grund der kräftigen blauen Farbe bereits in der Antike als Farbstoff genutzt (Kobaltblau).



Abbildungen 21: Kleinbergbau von Kobalt in der Demokratischen Republik Kongo.



29

Cu

Kupfer

63,546

Abbildung 22: Chuquicamata ist ein großindustrielles Kupferbergwerk in der nordchilenischen Atacama-Wüste in der Región de Antofagasta.

Kupfer

Top Abbauländer [29]

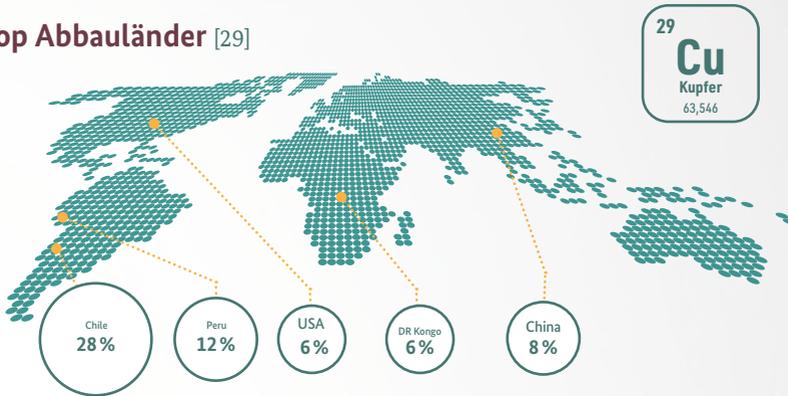


Abbildung 23: Kupfer wird derzeit in über 50 Ländern gefördert. Recycling spielt eine verhältnismäßig große Rolle in der weltweiten Rohstoffversorgung.

Lieferkette

Kupferlieferketten sind im Upstream-Bereich (d.h. von der Mine bis zur Raffinerie) relativ gut, im nachgelagerten Downstream-Bereich bis zur Verarbeitung in Endprodukten relativ schwer nachzuerfolgen. Kupfer wird in über 50 Ländern gefördert und Recycling spielt im Vergleich zu anderen Rohstoffen eine verhältnismäßig große Rolle in der weltweiten Rohstoffversorgung⁵.

Wichtige Produktionsprozesse und Zwischenprodukte nach dem Abbau sind die Aufbereitung des kupferhaltigen Gesteins zu u. a. Kupferkonzentraten (Reinheitsgrad bis 30 % Cu), Blisterkupfer (bis 98 % Cu) und Kupferanoden (bis 99,5 % Cu), die anschließende Raffination zu raffiniertem Kupfer (bis 99,9 % Cu); und die aus raffiniertem Kupfer erfolgende Herstellung von Halbzeugen⁶ wie z. B. die in LIB verwendete Kupferfolie, Drähte und Sammelschienen.

⁵ Kupferschrott wird, abhängig von dessen Reinheitsgrad, zur Raffinade- oder zur Halbzeugproduktion verwendet.

⁶ Halbzeuge sind halbfertige Produkte, wie beispielsweise Drähte, Bleche, Stangen und Rohre, die einen Zwischenschritt zum Endprodukt darstellen.

Kupfer wurde 2018 größtenteils in China (38%), Chile (10%) und Japan (7%) raffiniert [30]; die Halbzeugproduktion fand in 2018 zu 80% im asiatischen Raum statt. Wichtige Produkte im globalen Handel von Kupfer sind Kupfererze & Konzentrate, raffiniertes Kupfer, Kupferschrott und Halbzeuge.

Tabelle: Wichtigste Import- und Exportländer im globalen Handel per Beispielle Produktkategorie im Jahr 2018 (in Menge, nicht in Wert) [31].

Kategorie	Export	Import
Erze & Konzentrate	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chile 2. Peru 3. Australien 4. Mexiko 5. Indonesien 	<ol style="list-style-type: none"> 1. China 2. Japan 3. Spanien 4. Südkorea 5. Deutschland
Blisterkupfer & Anoden	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sambia 2. Chile 3. Bulgarien 4. Südafrika 5. Spanien 	<ol style="list-style-type: none"> 1. China 2. Belgien 3. Indien 4. Deutschland 5. Kanada
Raffiniertes Kupfer	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chile 2. Russische Föderation 3. Japan 4. Kasachstan 5. Australien 	<ol style="list-style-type: none"> 1. China 2. USA 3. Deutschland 4. Italien 5. Taiwan
Halbzeuge	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deutschland 2. China 3. Taiwan 4. Südkorea 5. Italien 	<ol style="list-style-type: none"> 1. China 2. Indien 3. USA 4. Italien 5. Deutschland

Beitrag zu den Zielen für Nachhaltige Entwicklung



Wichtige Einnahmequelle für viele Staaten. Der Kupferbergbau hat im Jahresdurchschnitt (1996-2015) 10% zu Chiles BIP beigetragen [32]. Der Wert der Bergbauproduktion im Verhältnis zum BIP war im Jahr 2017 in der DR Kongo 31,4%, in Sambia 25,9%, in Chile 16,6% und in Peru 15,5% [33].

Schaffung von Arbeitsplätzen., z.B. waren im Jahresdurchschnitt (2010 -2016) 2,9% der Arbeitskraft in Chile im Bergbau beschäftigt [34].

Kupfer ist aufgrund seiner Leitfähigkeit von Elektrizität und Wärme unerlässlich für die Energie -und Verkehrswende.



Entwicklungspolitische Risiken

Umwelt [35]:

Beim Abbau und der Weiterverarbeitung von Kupfer kommt es zu einem hohen Wasserverbrauch. Zudem entstehen saure Grubenwässer (Acid Mine Drainage). Hier besteht die Gefahr, dass solche Absatzbecken (tailing dams) überlaufen und brechen. Weitere Umweltrisiken bestehen durch die Freisetzung toxischer Emissionen bei Verhüttung/Raffinade.

Klima:

Kupferabbau hat einen hohen Energieverbrauch. In Peru nimmt beispielsweise eines der dort größten Bergwerke/Kupfermine 9% des nationalen Stromverbrauchs ein.

Soziale Risiken [36]:

In Rahmen von Kupferabbau kann es zu sozialen Konflikten mit umliegenden Gemeinden kommen. Häufig wird Kupfer auch in indigenen Territorien abgebaut. Hier kann es zu Verletzungen indigener Rechte kommen. Für den Kupferabbau bedarf es oftmals großer Flächen. Im Zuge dessen kann es zu Zwangsumsiedlungen kommen. Zudem kann der Kupferabbau in Verbindung mit illegalen Finanzflüssen gebracht werden.

Abbildung 24: Kupferplattenlager der Mine Lomas Bayas in der Region Antofagasta in Chile.



Beispiele für Aktivitäten der deutschen EZ

- Das BGR-GIZ Vorhaben „Regionale Kooperation zur nachhaltigen Gestaltung des Bergbaus in den Andenländern“ (MinSus) unterstützt die Andenländer bei der Umsetzung verantwortungsvoller Praktiken im Kupferbergbau
- Unterstützung von Initiativen zur Entwicklung und Rückverfolgung von Lieferketten sowie von Zertifizierungssystemen.
- Förderung von Multi-Stakeholder-Dialogen und aktive Beteiligung von Minderheiten, lokalen Gemeinschaften und der Zivilgesellschaft an Entscheidungsprozessen.
- Technologietransfer und Innovationsförderung zur Verringerung des ökologischen Fußabdruckes von Bergbauaktivitäten.



The image shows a world map with a callout box for Copper (Cu). The callout box contains the atomic number 29, the chemical symbol Cu, the name Kupfer, and the atomic weight 63,546.

- Kupfer hat nach Silber die höchste Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität und ist mengenmäßig nach Stahl und Aluminium das am meisten gehandelte Metall der Welt [30].
- Kupfer kann ohne Qualitätsverluste recycelt werden. Das Recycling von Kupfer verbraucht weniger Energie als die Primärproduktion von Kupfer.
- Elektroautos enthalten durchschnittlich ca. 80 kg Kupfer, was ungefähr dreimal der Menge an Kupfer in Autos mit Verbrennungsmotoren entspricht (ca. 25 kg) [37].

3

Li

Lithium

6,94



Abbildung 25: Salzwüste Salinas Grandes in der Provinz Jujuy im Nordwesten Argentiniens.

Lithium

Top Abbauländer [38]

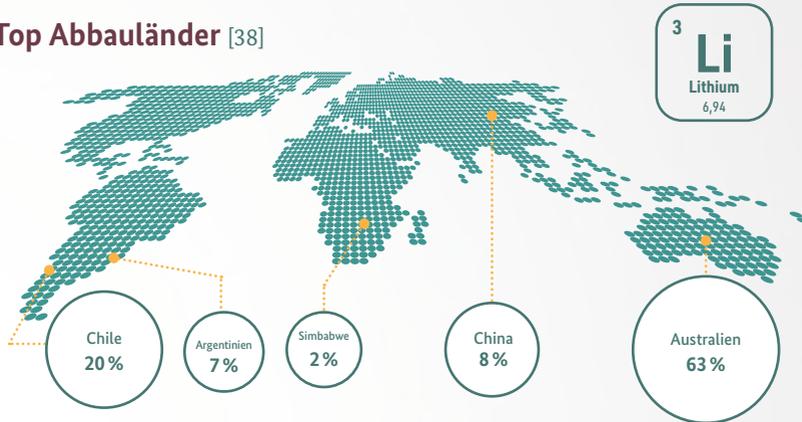


Abb. 26: Lithium wird bislang wirtschaftlich aus Festgesteinsvorkommen und Salaren gewonnen.

Lieferkette

Am Anfang der Lithiumlieferkette steht die Lithiumgewinnung. Für die Lithiumgewinnung sind bisher wirtschaftlich Festgesteinsvorkommen (z. B. Australien) und Salare (z. B. Chile, Argentinien, China) relevant.

Die Mineralkonzentrate und lithiumhaltigen Solen⁷ werden zu Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid, und untergeordnet Lithiumchlorid weiterverarbeitet. Die Weiterverarbeitung der Mineralkonzentrate findet überwiegend in China statt. Die Weiterverarbeitung der Solen erfolgt vorrangig in Aufbereitungsanlagen vor Ort durch die gleichen Unternehmen, welche die Solen fördern [7]. Die lithiumhaltige Sole wird durch Bohrlöcher an die Oberfläche gepumpt (Li-Gehalt bis zu 0,2%) und anschließend in nacheinander geschalteten Verdunstungsbecken durch die Evaporation des Wassers mit Li angereichert (Li-Gehalt bis zu 6%). Die mit Li-angereicherte Sole wird dann in einer chemischen Anlage zu (größtenteils) Lithiumkarbonat weiterverarbeitet. Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid werden zur Herstellung von Kathoden verwendet.



Beitrag zu den Zielen für Nachhaltige Entwicklung



Bergbau ist eine wichtige Einnahmequelle für viele Staaten, z.B. war der Wert der Bergbauproduktion im Verhältnis zum BIP im Jahr 2017 in Chile 16,6%, in Simbabwe 13,6%. [33]

Schaffung von Arbeitsplätzen, z.B. beschäftigt einer der Lithiumproduzenten in Chile fast 5000 Personen. [38]



Entwicklungspolitische Risiken

Umwelt:

Im Rahmen des Lithiumabbaus entstehen immer wieder Diskussionen über Auswirkungen der Soleförderung auf den Grundwasserspiegel, umliegende Lagunen sowie Flora und Fauna in ariden Gebieten [39].

Es besteht ein potenzielles Wasserversorgungsrisiko beim Lithiumabbau (Festgestein) in ariden Gebieten.

Soziale Risiken:

Vor allem bei der Solegewinnung kann es zur Verletzung Indigener Rechte kommen. Hier können auch soziale Konflikte hinsichtlich Land- und Ressourcennutzung auftreten.

Beispiele für Aktivitäten der deutschen EZ

- Das BGR-GIZ Vorhaben „Regionale Kooperation zur nachhaltigen Gestaltung des Bergbaus in den Andenländern“ (MinSus) fördert durch den regionalen Austausch von Best-Practices die Umsetzung einer verantwortungsvollen Rohstoffproduktion, was auch die Gewinnung von Lithium einschließt.
- Erstellung von Studien rund um die Lithiumgewinnung, wie z. B. eine Studie zu den Entwicklungen und Rahmenbedingungen des Lithium-Sektors in Bolivien.
- Das BMZ unterstützt durch die GIZ von Beginn an den Aufbau und die Umsetzung der Climate Smart Mining Strategie der Weltbank. Als Teil der Strategie plant die Weltbank ein Projekt zur Visualisierung des CO₂-Fußabdrucks von Lithium.



The image shows a world map with a dark red overlay. In the center, there is a white rounded square containing the lithium symbol: the number '3' at the top left, the chemical symbol 'Li' in the center, the word 'Lithium' below it, and the atomic weight '6,94' at the bottom.

- Der Salar de Uyuni (Bolivien) gilt als weltweit größtes Lithiumvorkommen, dessen Wirtschaftlichkeit jedoch noch nicht nachgewiesen ist. Die Förderung von Lithium findet bislang nur in den Nachbarstaaten Argentinien und Chile statt.
- In Europa wird an der Entwicklung weiterer Lithiumprojekte gearbeitet, mit dem Ziel der EU Kommission, dass ab 2025 80 % des europäischen Lithiumbedarfs innerhalb Europas abgedeckt werden kann. [40]
- Zur Herstellung von „leistungsstärkeren“ Kathoden (höhere Energiedichte) wird vorrangig Lithiumhydroxid verwendet.
- Um für die Herstellung von Kathoden verwendet werden zu können, müssen Lithiumchemikalien eine besonders hohe Reinheit besitzen („battery-grade“), die über der für technische Anwendungen in Gläsern oder Schmiermitteln liegt.



Abbildung 27: Solebecken für den Lithiumabbau.

25

Mn

Mangan

54,938

Mangan

Top Abbauländer [25]

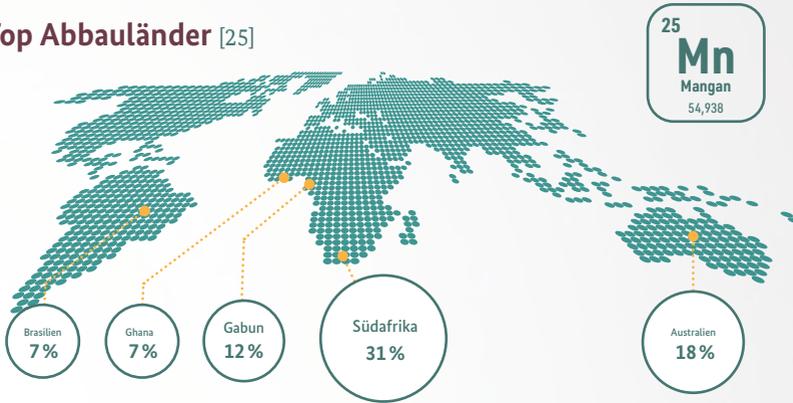


Abbildung 29: Mangan wird zu größten Teilen im industriellen Bergbau abgebaut. Der Kleinbergbau spielt nur eine sehr untergeordnete Rolle.

Lieferkette

Mangan wird überwiegend industriell im Tagebau oder Tiefbau abgebaut und anschließend entweder metallurgisch und/oder chemisch aufbereitet. Die weltweit führenden Produzenten von Manganerz sind Südafrika und Australien. Die Weiterverarbeitung des Manganerzes findet größtenteils in China statt. China ist größtes Importland von Manganerz [41]. In China wird das Manganerz dann zu Zwischenprodukten für die Stahlproduktion (wichtigste Anwendung von Mangan) und die Batterieproduktion weiterverarbeitet. Während die Zwischenprodukte für Stahl, insbesondere Ferromangan und Silicomangan, weltweit in Umlauf gebracht werden, werden die Zwischenprodukte für die Batterieproduktion vor allem in China selbst, aber auch in Japan und in Südkorea weiter- und endverarbeitet [42]. Von dort werden die Endprodukte (z. B. LIB) dann weltweit verkauft.



Abbildung 30: Vereinfachte Lieferkette von Mangan für die Batterieproduktion.

- ① — Manganerze aus dem industriellen Bergbau werden zur Aufbereitung nach China exportiert.
- - ② - - Zwischenprodukte (z.B. batteriefähiges Mangan) wird in China, Japan und Südkorea zu Lithium-Ionen-Batterien weiterverarbeitet.
- ③ Lithium-Ionen-Batterien werden global für E-Autos und andere Technologieprodukte genutzt.



Südafrika



Industrieller Bergbau



Handelszentrum



Raffinerie/Verhüttung



Herstellung von Batteriekomponenten



Herstellung der Batterie



Endprodukt

Australien



Beitrag zu den Zielen für Nachhaltige Entwicklung

Der Manganabbau ist in einigen Ländern, wie Gabun oder Südafrika, ein sehr wichtiger wirtschaftlicher Faktor.



Manganerz ist mit einem Anteil von ca. 21 % (1,2 Mrd. USD) das zweitgrößte Exportprodukt Gabuns und trägt damit stark zur wirtschaftlichen Entwicklung von Gabun bei [43].

Der Kleinbergbau spielt weltweit bei Mangan eine geringe Rolle, kann aber in bestimmten Gebieten (z. B. in Indonesien und Myanmar) die lokale wirtschaftliche Entwicklung stärken.

Der industrielle Bergbau stärkt Steuereinnahmen und trägt zum Aufbau von Infrastruktur und assoziierten Wirtschaftszweigen bei.



Entwicklungspolitische Risiken

Da der Manganabbau fast ausschließlich im industriellen Bergbau stattfindet, ergeben sich dort die größten entwicklungspolitischen Risiken:

Gesundheit:

In der Nähe von industriellen Anlagen kann es zu einer erhöhten Manganexposition kommen, die insbesondere für Kinder gefährliche gesundheitliche Folgen haben kann (z.B. vermindertes Wachstum und Skelettverformungen) [44].

Umwelt:

Die möglichen Umweltauswirkungen des Tiefseeabbaus, welcher aktuell erforscht wird, sind noch nicht absehbar.

Soziale Risiken:

Bei der Exploration neuer Abbaugelände finden vereinzelt (Zwangs-) Umsiedlungen statt.



Allein aus aktuell von der BGR erforschten Tiefseebergbaugebieten könnten die Bedarfe Deutschlands des Jahres 2018 für Mangan zu 300 % und für Kobalt, welches auch in Manganknollen enthalten ist, zu 80 % gedeckt werden [45]. Allerdings ist bislang sehr wenig über das Ökosystem der Tiefsee bekannt. Der Tiefseebergbau birgt Risiken für Meeresökosysteme, daher ist Forschung notwendig, um die Potenziale und Risiken von Tiefseebergbau genauer zu bestimmen.



Abbildung 31: Manganproduktion in der Wessels Mine in Südafrika.

28

Ni

Nickel

58,6934



Abbildung 32: Nickelproduktion in Norilsk, Russland.

Nickel

Top Abbauländer [29]

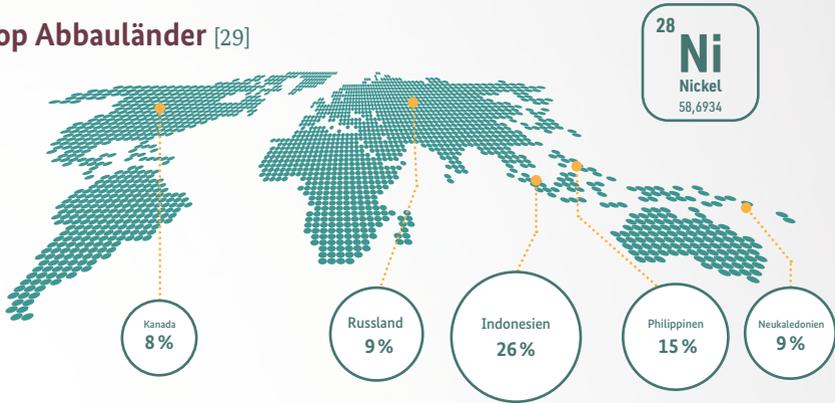


Abbildung 33: Die Nickelvorräte (Lagerstätten) weisen eine große geographische Streuung auf.

Lieferkette

Die globalen Nickelvorräte weisen eine große geographische Streuung auf. Entsprechend komplex und umfassend sind die weltweiten Lieferketten. Nickellaterite und -sulfide werden in etwa 30 Ländern auf allen Kontinenten im industriellen Maßstab abgebaut und zu Class II-Nickel (vor allem Nickelroheisen und Ferronickel – Reinheitsgrad < 99,8%) oder Class I-Nickel (Reinheitsgrad $\geq 99,8\%$) weiterverarbeitet [46]. Für die Herstellung von Nickelsulfat, dem wichtigsten Ausgangsstoff für die Herstellung von Kathodenmaterial der Lithium-Ionen-Batterien, dienen neben Class I-Nickel vor allem verschiedene Zwischenprodukte der Nickelmetallurgie (z. B. Nickelmatte) aus Primär- und Sekundärrohstoffen. Diese Produkte werden in zahlreichen Ländern hergestellt und weltweit gehandelt.

Im Jahr 2017 waren z. B. bei Nickelmetall (Class I), das an der LME (London Metal Exchange) und SHFE (Shanghai Futures Exchange) gehandelt wird, Kanada, die Niederlande (nur als Rohstoff-Hub), Russland und Norwegen die weltweit größten Exporteure [47].

Beitrag zu den Zielen für Nachhaltige Entwicklung



Beschäftigungspotenzial in ländlichen Regionen.

Potenzieller Aufbau von Infrastruktur und Wertschöpfungsketten durch Bergbau und assoziierte Wirtschaftszweige (Bsp. Indonesien).



Entwicklungspolitische Risiken

Die größten entwicklungspolitischen Herausforderungen treten im Nickelabbau und der Weiterverarbeitung auf:

Gesundheit:

Fehlender Arbeitsschutz bei der Gewinnung und Verhüttung von nickelhaltigen Erzen und Konzentraten [48] [49].

Umwelt:

Verunreinigung von Trinkwasser bei Nichteinhaltung der notwendigen Sicherheitsvorkehrungen beim Abbau und der Weiterverarbeitung von Nickel. Zudem bedarf es weiterer Forschung zu potenziellen negativen Umwelteinflüssen zukünftig denkbarer Abbaumethoden wie des Tiefseebergbaus [50] [51] [52].

Soziale Risiken:

Eingriff in Menschenrechte im Kontext vereinzelte (Zwangs)-Umsiedlungen und damit verbundener Maßnahmen im Rahmen von Bergbauprojekten [53] [54].

Beispiele für Aktivitäten der deutschen EZ

Unterstützung der Multi-Stakeholder-Gruppe der Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) auf den Philippinen. Die Philippinen haben Nickel in ihre EITI-Berichterstattung mit aufgenommen, um die Rechenschaftspflicht und Finanztransparenz auch in diesem wichtigen Bereich des nationalen Rohstoffsektors zu stärken.



- Nickel wird in verschiedenen Münzen des US-Dollars, Britischen Pfunds und Euros verwendet
- „Nickel“ leitet sich vom deutschen Wort „KupfERNickel“ ab, was so viel wie „Teufelskupfer“ bedeutet
- Nickel ist nach Eisen das im Erdkern am zweithäufigsten vorkommende Element.



Abbildung 34: Massivsulfid-Nickel-Erz-Gestein (Leinster West Australien).

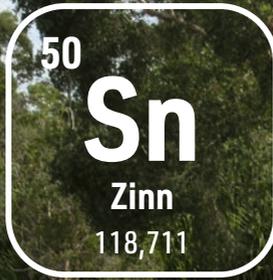


Abbildung 35: Zinn kommt auch in Sedimenten wie Sand oder Kies in küstennahen Gewässern vor.

Zinn

Top Abbauländer [29]

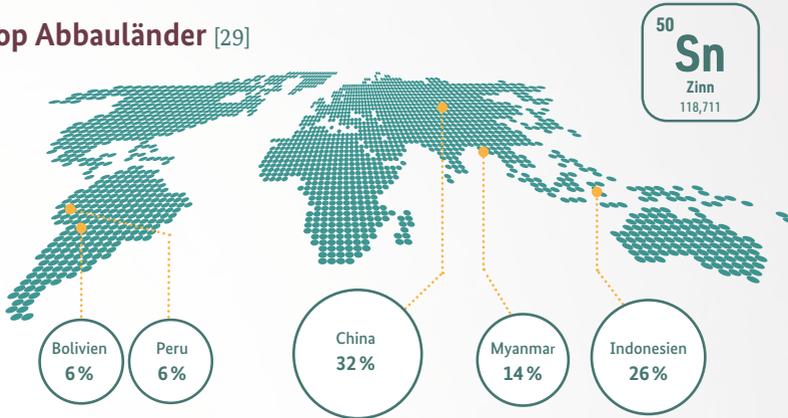


Abbildung 36: Zinn kommt in Festgesteinslagerstätten vor, die meist industriell abgebaut werden und aus dem Seifenabbau (Mineralanreicherungen in Sedimenten wie Sand oder Kies) an Land und in küstennahen Gewässern, die manuell ohne oder nur mit minimaler Mechanisierung abgebaut werden können.

Lieferkette

Zinn wird zum Verbinden und Verzinnen von elektrischen Leitungen, Drähten und Leiterplatten verwendet. Weißblech, das aus Zinn hergestellt wird, wird unter anderem für Anschlüsse, Batteriekontakte, Batteriegehäuse und Abschirmgehäuse in der Elektrotechnik bzw. Elektronik verwendet. Zurzeit wird Zinn nicht im industriellen Maßstab in Batterien der E-Mobilität verwendet. Nach derzeitigem Forschungsstand weist Zinn das Potential auf, in Zukunft in Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt zu werden. Mithilfe von Zinn könnte deren Energiedichte und Betriebssicherheit signifikant gesteigert werden.

Die durchschnittliche Betriebsgröße im Zinnbergbau ist vergleichsweise klein. Ein wesentlicher Anteil der globalen Zinnproduktion stammt aus dem Kleinbergbau, dessen Anteil auf ca. 27% geschätzt wird. Der informelle und illegale Zinnabbau ist auf einigen Inseln Indonesiens verbreitet und durch komplexe Zwischenhändlerstrukturen eng mit dem formellen Sektor verbunden. Aus Indonesien darf nur Zinnmetall exportiert werden.

Im Jahr 2014 waren die drei größten Exporteure von Zinnerzen und -konzentraten Myanmar, Australien und Nigeria [55] [56]. Die größten Importeure waren China, Malaysia und Thailand [57].

Beitrag zu den Zielen für Nachhaltige Entwicklung



Beschäftigungspotenzial in ländlichen Regionen.

Insbesondere der arbeitsintensive Kleinbergbau ist Lebensgrundlage für viele Menschen in Entwicklungsländern. Aufgrund des häufig informellen Charakters des artisanalen und Kleinbergbaus können Beschäftigungszahlen im Zinn-Kleinbergbau nur ungefähr geschätzt werden. In Myanmar arbeiten zwischen 10.000 – 12.000 Menschen im Zinn-Kleinbergbau, in Indonesien zwischen 40.000 – 60.000 Menschen. Weltweit sind ca. 250.000 Menschen im Zinn-Kleinbergbau tätig.

Die indonesische Abbauregion der Inseln Bangka und Belitung haben eine der geringsten Armutsraten in Indonesien [58].

Im Zinnabbau arbeiten viele Arbeitsmigranten aus anderen Regionen Indonesiens, die ihre Familien in anderen Regionen mit ihren Einkünften unterstützen.



Entwicklungspolitische Risiken

Die größten Herausforderungen treten häufig im Kleinbergbau auf. Der Kleinbergbau hat einen Anteil von ca. 27% am gesamten Zinnabbau.

Umwelt:

Der Abbau von Zinn kann Auswirkungen auf die Umwelt haben. Unter anderem kann es zur Zerstörung von Korallenriffen und Störungen des Wasserhaushalts kommen [60].

Gesundheit:

Besonders im Kleinbergbau kann es durch fehlenden Arbeitsschutz zu (teilweise tödlichen) Verletzungen kommen [59].

Konfliktfinanzierung:

Zinn ist ein „Konfliktrohstoff“. In Myanmar finanziert sich zum Teil eine Rebellen-gruppe, die sogenannte „Wa-Armee“ durch den Zinnbergbau. Die „Wa-Armee“ hat Kindersoldaten im Einsatz [61]. Ein Großteil des im „Wa-Staat“ geförderten Zinns wird nach China exportiert und dort verhüttet [62]. Auch in der DR Kongo wird Zinn abgebaut, das mit der Finanzierung von Konflikten in der Region in Zusammenhang gebracht wird [63]. Dieses wird nach Ruanda und Burundi geschmuggelt und von dort exportiert.

Soziale Risiken:

Auch Kinderarbeit steht mit der Gewinnung von Zinn immer wieder in der Kritik.

Beispiele für Aktivitäten der deutschen EZ

- Die BGR führt im Osten der DR Kongo ein Projekt zur Etablierung eines Zertifizierungssystems (CTC, Certified Trading Chains) für Zinn durch.
- Das BMZ ist Mitglied der European Partnership for Responsible Minerals (EPRM), welche u.a. Projekte im Zinn-Kleinbergbau fördert, z.B. die Tin Working Group in Indonesien.
- Das Programm zur Unterstützung der Internationalen Konferenz der Region der Großen Seen (ICGLR) hat das Ziel, den Handel mit illegal abgebauten Rohstoffen in den Unterzeichnerstaaten der ICGLR einzudämmen.



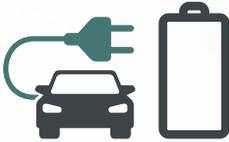
Zinn kann unbegrenzt in derselben hohen Qualität wiederverwertet werden. Daher wird Zinnrecycling auch in Zukunft eine gewisse Rolle bei der Zinnversorgung spielen.



Abbildung 37: Kassiterit (hier in kristalliner Form) ist das wirtschaftlich bedeutendste Erz zur Gewinnung von Zinn.



Recyclingpotential



1. MOBILITY



2. REPURPOSING



3. SECONDARY LIFE



4. RECYCLING

Mit dem Ende der primären Nutzung kann eine Batterie aus E-Fahrzeugen entweder in einer anderen Anwendungsfunktion, beispielsweise als stationärer Energiespeicher weiterverwendet oder recycelt werden. Die Infrastruktur ist für beide Möglichkeiten in Europa aktuell noch im Aufbau. In Entwicklungs- und Schwellenländern gibt es kaum bis gar keine Kapazitäten.

Die Batteriemodule aus E-Fahrzeugen, die nicht mehr die gewünschte Kapazität oder defekte Zellen haben, können repariert werden und als komplettes Paket weiter genutzt werden. Ebenso können lediglich gut erhaltene Zellen einzeln aufgearbeitet oder neu aufgebaut werden [64]. Die Zellen, die sich nicht mehr für den Einsatz in E-Fahrzeugen nutzen lassen, können als stationäre Energiespeicher in kleinem oder großem Maßstab genutzt werden, z. B. als Energiespeicher für erneuerbare Energien in Wohnhäusern [65]. Auch einzelne Bauteile können entfernt und als Ersatzteile wiederverkauft werden. Diese Prozesse sind arbeitsaufwendig und unterschiedliche Herstellungs- und Packverfahren der Batterien (unter anderem gemäß von Brandschutzbestimmungen) erschweren die Aufarbeitung und Automatisierung [66].

Aus nicht wiederverwendbaren Zellen können einzelne Rohstoffe zurückgewonnen werden. Die Batterien müssen manuell in ihre Bestandteile zerlegt werden. Ab einer gewissen Recyclingkapazität lohnt sich die Teilautomatisierung, auch hier erschweren unterschiedliche Herstellungs- und Packverfahren die Demontage [67]. Durch mechanische, pyro- oder hydrometallurgische Verfahren werden die Rohstoffe aus den Zellen gelöst und gesammelt. Diese Verfahren sind aufwendig und mit einem hohen CO₂-Ausstoß und Chemikalienbedarf verbunden. Im Labor ermöglichen sie mittlerweile nicht nur die Rückgewinnung der Metalle, sondern auch des Graphits, sowie der Elektrolyte und Leitsalze [68]. Die Effizienz der Verfahren und die Reinheit der produzierten Rohstoffe unterscheiden sich stark. Während sich beispielsweise Aluminium gut recyceln und wiederverwenden lässt, sind Recyclingraten für Lithium extrem niedrig, da es bisher weder technisch möglich noch wirtschaftlich rentabel ist, für die Kathodenherstellung geeignetes Material zurückzugewinnen. Auch das in Batterien verwendete Kobalt muss für eine optimale Leistung extrem rein sein, was die Verwendung von recyceltem Kobalt einschränkt.

Der Wert einer Batterie für Recyclingunternehmen hängt neben den Recyclingkosten und dem rechtlichen Rahmen von den enthaltenen Materialien, und damit von den aktuellen Rohstoffpreisen, ab. Vor allem durch technische Fortschritte ist der Anteil der wertvollen Metalle in den Batterien gesunken. Die von etwa 1990 – 2010 handelsübliche, mittlerweile nicht mehr verwendete Lithium-Kobalt-Oxid-Batterie hatte einen Wert von circa 8 EUR pro Kilogramm auf Grund ihres hohen Kobaltgehalts von circa 20%. Die moderne NMC-Batterie hat einen Kobaltgehalt in der Kathode von 2 bis 6% und damit nur einen Wert von 4,70 EUR bis 5,50 EUR pro Kilogramm. Kobaltfreie Batterien haben lediglich einen Wert von 2 EUR pro Kilogramm (Stand 2019). Zusammen mit der erhöhten Komplexität des Recyclings wirkt sich dieser Faktor auf das ökonomische Interesse am Recycling aus [69]. Gesetzliche Produktanforderungen zu der anteiligen Verwendung von Sekundärrohstoffen hat einen großen Einfluss auf die Nachfrage und Rentabilität des Recyclings.

Derzeit ist eine große Schwierigkeit beim Recycling sogenannter Consumer Electronics (bspw. Handys) die Sammlung der Batterien. Batterien werden häufig fest verbaut, so dass der Endkunde sie nicht entfernen kann. Wird das Gerät mit dem Ende seiner Nutzung nicht einem vom Hersteller beauftragten Recyclingunternehmen

übergeben, sondern ins Ausland verkauft, um dort weiter genutzt oder recycelt zu werden, wird es damit dem Recyclingmarkt des Ursprungslandes entzogen [69]. Der Hersteller kann in diesem Fall nicht seiner Verpflichtung nachkommen und für eine sachgemäße Verarbeitung sorgen. Große Mengen der in Europa zum Recycling anfallenden Batterien werden nach Asien exportiert und dort verwertet. Obwohl erste große Recyclingstandorte in Deutschland, Polen, Schweden und Ungarn geplant oder bereits im Aufbau sind, befindet sich China im weltweiten Ranking für das Recycling von Zellen, Kathoden- und Anodenmaterialien deutlich auf Platz 1. Während von chinesischen Unternehmen 2018 ca. 70% der Batteriezellen recycelt wurden, waren es in Europa weniger als 5%. Dies liegt unter anderem daran, dass China bereits über einen großen Markt verfügt, Recycling staatlich gefördert wird und Unternehmen guten Zugriff auf recyclingfähiges Material haben. Recycling und Herstellung sind miteinander verbunden. Das chinesische Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (MIIT) beispielsweise verpflichtet Hersteller von E-Fahrzeugen Recyclinganlagen für Batterien einzurichten und zu standardisieren [70]. Obwohl die EU in Bezug auf das traditionelle Batterie-Recycling ein ausgereifter Markt ist, gibt es nur eine Anlage, die Lithium-Ionen-Batterie-Herstellung und Recycling verbindet [71].

Klare Rahmenbedingungen, Normen und einheitliche Industriestandards sind ein wichtiger Schritt zur effektiveren Verwertung der Lithium-Ionen-Batterien nach Ende ihrer ursprünglichen Nutzung. Außerdem sind Batterieleihmodelle und Batteriepfandsysteme eine Möglichkeit die Sammlung zu verbessern. Bei der Batterieleihe geht die Batterie nicht in den Besitz des Nutzers über, sondern wird gegen eine Gebühr vom Hersteller zur Verfügung gestellt. Pfandsysteme sollen durch finanzielle Anreize garantieren, dass die Batterie dem Hersteller zurückgegeben wird. So können die Hersteller ihren Verpflichtungen nachkommen und es wird ein fachgerechtes Recycling gewährleistet. Die Sicherung der Rückführung zum Hersteller erleichtert zudem Investitionen in die Recyclingkapazitäten von Herstellern und deren Vertragspartnern.

Insgesamt stellt Recycling interessante Möglichkeiten für Länder mit fortgeschrittener Recyclingtechnologie dar, um den Druck der steigenden Nachfrage nach bestimmten Rohstoffen potenziell zu verringern. Allerdings kommt es selbst bei einer starken Zunahme des Recyclings mit Blick auf den aktuell rasant wachsenden E-Mobilität-Markt weiter zu einer starken Nachfrage an Primärrohstoffen. Das gilt insbesondere für die Rohstoffe mit der höchsten Nachfragesteigerung, bei denen es an vorhandenem Material für Recycling und Wiederverwendung mangelt. Deswegen sind weitere politische Maßnahmen erforderlich, die Energieeffizienz, umwelt- und sozialverträgliche Verfahrensweisen und Innovationen fördern. So soll sichergestellt werden, dass E-Fahrzeug-Batterien sicher und effizient demontiert und recycelt werden können. Nicht nur in Europa sondern gerade in Entwicklungs- und Schwellenländer in die gebrauchte E-Fahrzeuge in Zukunft häufig exportiert werden könnten. Für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ist dies bereits weit verbreitet. Der Export von gebrauchten E-Fahrzeugen würde Entwicklungs- und Schwellenländer vor neue Herausforderungen insbesondere im Bereich des Recyclings von Batterien stellen.

Beispiele für Aktivitäten der deutschen EZ

- Im Rahmen der PREVENT Abfallallianz fördert das BMZ Pilotprojekte im Bereich Recycling von Lithium-Ionen Batterien in Afrika
- Deutschland unterstützt die Regierung von Ghana beim Aufbau eines nachhaltigen E-Schrott Managements.

EU Green Deal: Nachhaltige Batterien für eine klimaneutrale Kreislaufwirtschaft

Im Dezember 2020 hat die Europäische Kommission den Vorschlag gemacht, die EU-Rechtsvorschriften für Batterien zu modernisieren. Betrachtet wird die komplette Batterie-Wertschöpfungskette von der Primärrohstoffförderung bis hin zur Kreislaufwirtschaft. Mit diesem neuem Rechtsrahmen soll die Nachhaltigkeit und

Steigerung des Kreislaufpotenzials von Batterien verbessert werden. Dies ist die erste Initiative im Rahmen der Maßnahmen, die im neuen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (EU Circular Economy Action Plan) angekündigt wurden. Batterien, die über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg nachhaltiger sind, sind der Schlüssel zu den Zielen des europäischen Green Deals. Es handelt sich um verbindliche Anforderungen für alle Batterien (d. h. Industrie-, Automobil-, Elektrofahrzeug- und Gerätebatterien), die in der EU in Verkehr gebracht werden.

Für die Entwicklung einer nachhaltigeren und wettbewerbsfähigeren Batterieindustrie in Europa und weltweit sind Anforderungen wie die Verwendung verantwortungsvoll beschaffter Materialien mit begrenztem Einsatz gefährlicher Stoffe, ein Mindestgehalt an recyceltem Material, ein geringerer CO₂-Fußabdruck, die Setzung von Standards für Leistung, Haltbarkeit und Kennzeichnung sowie die Erfüllung der Sammel- und Recyclingvorgaben von wesentlicher Bedeutung. Batterien, die in der EU in den Verkehr gebracht werden, sollen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg nachhaltig, leistungsfähig und sicher sein. Dies bedeutet, dass Batterien mit der geringstmöglichen Umweltbelastung hergestellt werden und Materialien verwendet werden, die unter voller Beachtung der Menschenrechte sowie sozialer und ökologischer Standards gewonnen werden.

Konkret umfasst die Batterieverordnung folgende Ziele:

- Harmonisierung der Produkthanforderungen für Batterien
- Minimierung der Umweltauswirkungen von Batterien
- Verpflichtender Sekundärrohstoffgehalt
- „den Kreislauf schließen“, indem die Wiederverwendung gefördert und die Sammlung und das Recycling von Batterien verbessert werden
- Rechtssicherheit schaffen, um Investitionen zu fördern und die Produktionskapazität für nachhaltige Batterien in Europa und darüber hinaus zu steigern

Substitution

Auf Grund von sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Herausforderungen entlang der Wertschöpfungskette einzelner Rohstoffe, kann es vorteilhaft sein, den Anteil dieser Rohstoffe zu verringern oder gänzlich zu ersetzen. Um die Substitutionsfähigkeit einzelner Rohstoffe abschätzen zu können, muss der Einsatzzweck und Batterietyp beachtet werden. Eine Veränderung der Zusammensetzung beeinflusst Batterieeigenschaften und -leistung, sowie Reichweite und Lebensdauer der Batterie.

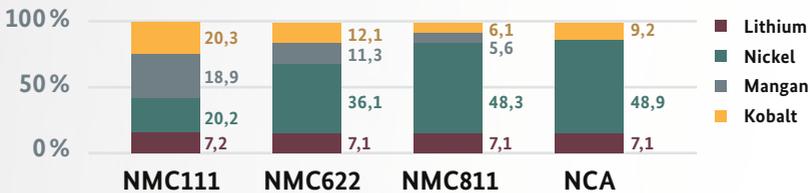


Abbildung 38: Rohstoffverhältnis in LIB mit verschiedenen Kathoden.

Kobalt aus der DR Kongo steht durch Berichte über Kinderarbeit und gefährliche Arbeitsbedingungen beim Abbau im Fokus der Öffentlichkeit. Durch das negative Image von Kobalt und einer starken Preisvolatilität wurde die Forschung an kobaltarmen oder -freien Batterien stark vorangetrieben. Der Kobaltgehalt einer NMC111⁸ Kathode beträgt 20%. Durch eine veränderte Zusammensetzung kann der Gehalt in der NMC811 Kathode auf 6% gesenkt werden. Kobalt wird durch einen erhöhten Nickelanteil substituiert [6]. Der erhöhte Nickelanteil ermöglicht auch eine höhere Energiedichte. Bereits jetzt werden Batterien mit Kathoden mit einem Nickelanteil von rund 80% (bspw. NCAs von Tesla und Batterien des Typs NMC811) und in geringerem Ausmaß mit einem Nickelanteil von rund 90% kommerziell vertrieben.

Die Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie (LFP) kommt in ihrer Kathode ohne Kobalt, Mangan und Nickel aus. Sie gilt als besonders sicher, umweltfreundlich und hat weitere vorteilhafte Eigenschaften. Allerdings limitiert die im Vergleich zu NMC/NCA-Zellen nur halb so große Energiedichte der Batterie die Nutzungsmöglichkeiten. So werden diese eher als stationäre Energiespeicher oder in Elektrobussen Anwendung finden, als in Elektroautos [72].

⁸ In einer NMC111-Kathode stehen Nickel, Mangan und Kobalt in einem Verhältnis von ~1:1:1, in einer NMC811-Kathode ist das Verhältnis ~8:1:1

Verschiedene Forschungsansätze beschäftigen sich mit neuen Batteriezusammensetzungen und -typen. Dazu gehört die Forschung an Aluminium-Ionen-Batterien, die eine höhere Reichweite ermöglichen sollen und Lithium ersetzen könnten. Auch auf der Anodenseite wird an der Substitution von Graphit gearbeitet. Diese könnten jedoch frühestens in 10 Jahren marktreif werden [73].

Aktuelle Batterien benötigen ein stabiles Batteriegehäuse und eine Bodenplatte, um die Zellen zu schützen. Beides besteht in vielen Fällen aus Aluminium. Durch neue Packverfahren, Hochleistungslegierungen und die Entwicklung von Feststoffbatterien kann der Materialeinsatz in diesem Bereich deutlich gesenkt werden [74]. Feststoffbatterien benötigen keine Heiz- oder Kühlvorrichtungen und ermöglichen dadurch weitere Einsparungen.

Die Materialintensität einer Batterie lässt sich nur durch innovative Forschung senken. Der technische Fortschritt hat zu großen Effizienzsteigerungen in den letzten Jahren geführt und eine Reihe von Batteriezusammensetzungen ermöglicht. Für die Entscheidung über die Rohstoffzusammensetzung der Batterie sollten neben technischen und ökonomischen auch soziale und ökologische Interessen berücksichtigt werden. Rohstoffe mit einer starken entwicklungspolitischen Kritikalität können zu Gunsten eines anderen Rohstoffs verringert oder vermieden werden. Entscheidend ist hierbei jedoch stets im Blick zu behalten, mögliche negative Folgen des Abbaus eines Rohstoffes nicht durch den Abbau eines Substituts lediglich zu verlagern.

Zudem können solche Entscheidungen große entwicklungspolitische Implikationen für die rohstoffabbauenden Länder haben, da der Bergbau für viele Menschen vor Ort die einzige wirtschaftliche Einkommensquelle ist. Anstelle von reiner Substitution sollte der Fokus auf nachhaltigem Abbau unter Einhaltung von sozialen und ökologischen Standards liegen.

Welche Zusammensetzung sich in der Zukunft durchsetzen wird, ist derzeit ungewiss. Aufgrund der hohen politischen Aufmerksamkeit für das Thema E-Mobilität und der damit verbundenen aktiven Forschung, wird es auch in den nächsten Jahren zunehmend weiteren technologischen Fortschritt sowie Innovationen geben.



Glossar

Aktivmaterial: Aktivmaterial bezeichnet die Substanzen, die aktiv an den chemischen Reaktionen zur Energiespeicherung in einer Batterie beteiligt sind.

Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): Als Kleinbergbau bezeichnet man die Gewinnung von Rohstoffen mit einfachen, nicht industriellen Methoden. Kleinbergbau, bei dem die Arbeiten nur manuell getätigt werden, bezeichnet man auch als artisanalen Bergbau. Der artisanale und Kleinbergbau ist ein weitgehend informeller Sektor. In vielen rohstoffreichen Entwicklungsländern bietet er Millionen von Menschen eine Lebensgrundlage.

Blockchain Technologie: Bekannt geworden ist die Blockchain Technologie vor allem bei Kryptowährungen wie z.B. Bitcoin. Eine Blockchain beschreibt im digitalen Datenmanagement eine Kette einzelner Informationsblöcke, mit denen Transaktionsdaten unveränderlich erfasst werden. Diese werden über ein Computernetzwerk dezentral verifiziert. In einer Blockchain können so zahlreiche Informationen, wie z.B. Nachweise, Zertifikate oder Siegel, die Auskunft über das Einhalten von Arbeits-, Umwelt- und Sozialstandards entlang der vor- und nachgelagerten Rohstofflieferkette geben, dokumentiert werden. Eingespeiste Daten sind im Nachhinein nicht veränderbar und geben daher eine hohe Sicherheit. Anhand der freigegebenen Informationen können die Herkunft, Handlungspunkte und Weiterverarbeitung eines Rohstoffs und der daraus gefertigten Produkte nachvollzogen werden.

CO₂-Äquivalente (CO₂e): CO₂-Äquivalente (CO₂e) sind eine Maßeinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase. Dabei wird das globale Erwärmungspotential der ausgestoßenen Treibhausgase auf die vergleichbare Menge CO₂ umgerechnet.

Elektrode (Kathode/Anode): Elektroden sind unentbehrliche Bauteile jeder Batterie. Es handelt sich dabei um Materialien, die Elektronen – elektrischen Strom – leiten. Eine Elektrode steht in einer Batterie mit einer weiteren Elektrode in Wechselwirkung. Eine Elektrode ist positiv geladen, die andere negativ. Ist eine Batterie in Betrieb, wird sie entladen. Dabei fließen Elektronen von der einen Elektrode durch einen Verbraucher (z. B. einen Elektromotor) in die Gegenelektrode.

Durch den leitfähigen Elektrolyten, welcher die Elektroden umgibt, findet ein Ladungsaustausch statt, indem Li-Ionen (geladene Teilchen) von der einen Halbzelle in die andere wandern, um die fehlenden Ladungen der Elektronen auf der gegenüberliegenden Elektrode auszugleichen. Die Kathode ist die negativ geladene Elektrode, abhängig vom Batterietyp besteht sie aus verschiedenen Metallen, zum Beispiel aus Nickel, Kobalt und Mangan (NMC). Die Anode ist die positiv geladene Elektrode, sie besteht aus Graphit mit eingelagertem Lithium. Beim Aufladeprozess der Batterie dreht sich die Flussrichtung um, die Anode wird zur Kathode und die Kathode zur Anode.

Elektrolyte und Leitsalze: Elektrolyt ist eine ungenaue Sammelbezeichnung für Medien, meist Flüssigkeiten oder Gele, die durch die elektrisch geladenen Atome oder Moleküle (Ionen), die darin enthalten sind, elektrisch leitfähig sind. Elektrolyten können verschiedene Zusätze (Additive) enthalten. Ist ein Elektrolyt nicht ausreichend elektrisch leitfähig, werden ihm Leitsalze zugesetzt, um die elektrische Leitfähigkeit zu verbessern. Dies ist etwa in den meisten Lithium-Ionen-Batterien der Fall.

Large-Scale Mining (LSM): Industrieller Großbergbau wird in der Regel von großen Unternehmen mit einer Vielzahl an Beschäftigten und maschinell durchgeführt.

Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie (LFP): Die LFP-Batterie ist eine Art der Lithium-Ionen-Batterien. Namensgebend ist die Zusammensetzung der positiven Elektrode (Kathode), sie besteht aus Lithium-Eisenphosphat. Die negative Elektrode besteht aus Graphit mit eingelagertem Lithium.

Lithium-Ionen-Batterie (LIB): Lithium-Ionen-Batterien sind alle Batterien auf der Basis von Lithium-Verbindungen. Die reaktiven Materialien enthalten Lithium-Ionen und zwar sowohl in der negativen als auch in der positiven Elektrode sowie im Elektrolyt.

Nickel-Kobalt-Aluminium-Batterie (NCA): Die NCA-Batterie ist eine Art der Lithium-Ionen-Batterien. Namensgebend ist die Zusammensetzung der positiven Elektrode (Kathode), sie besteht aus Nickel, Kobalt und Aluminium. Die negative Elektrode besteht aus Graphit mit eingelagertem Lithium.

Nickel-Kobalt-Mangan-Batterie (NMC): Die NMC-Batterie ist eine Art der Lithium-Ionen-Batterien. Namensgebend ist die Zusammensetzung der positiven Elektrode (Kathode), sie besteht aus einer Mischung von Nickel, Mangan und Kobalt. Das Verhältnis zwischen den Metallen unterscheidet sich abhängig vom Hersteller. Es sind Zusammensetzungen mit gleichem Anteil (1:1:1) bis zu einem stark erhöhten Nickelanteil (8:1:1) möglich. Die negative Elektrode besteht aus Graphit mit eingelagertem Lithium.

Sustainable Development Goals (SDGs): Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (engl. Sustainable Development Goals) sind politische Zielsetzungen der Vereinten Nationen, die weltweit der Sicherung nachhaltiger Entwicklung auf ökonomischer, sozialer und ökologischer Ebene dienen sollen. Sie traten am 1. Januar 2016 mit einer Laufzeit von 15 Jahren (bis 2030) in Kraft.

Wertschöpfung: Der Begriff der Wertschöpfung beschreibt die Transformation von vorhandenen Gütern in Güter mit höherem monetären Wert. Die Wertschöpfung gibt einen Hinweis auf die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und die Produktivität einzelner Leistungsprozesse eines Unternehmens oder von gesamten Volkswirtschaften. Da es das Ziel jeder wirtschaftlich produktiven Tätigkeit ist, vorhandene Güter in Güter mit höherem Geldwert umzuwandeln, strebt ökonomisches Handeln danach, die Wertschöpfung möglichst zu maximieren.

Literaturverzeichnis

- [1] Zhao, X., Mahendra A., Godfrey, N., Dalkmann, H., Rode P., and Floater, G., „Unlocking the Power of Urban Transport Systems for Better Growth and a Better Climate“, New Climate Economy, London & Washington, 2016.
- [2] UN HABITAT, „Hot Cities: battle-ground for Climate Change“, GLOBAL REPORT ON HUMAN SETTLEMENT, 2011.
- [3] Emilsson, E. et al, Lithium-Ion Vehicle Battery Production. Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Production Environmental Footprint, and Recycling, 2019, p. 29.
- [4] „Bundesregierung.de“, 2020. [Online]. Verfügbar: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/verkehr-1672896> [Zugriff am 11.12.2020].
- [5] IEA, „Global EV Outlook 2020“, 2020.
- [6] Al Barazi, S, „Rohstoffrisikobewertung – Kobalt“. DERA Rohstoffinformationen 36, Berlin, 2019.
- [7] M. Schmidt, „Rohstoffrisikobewertung – Lithium“. DERA Rohstoffinformationen 33, Berlin, 2017.
- [8] World Bank Group, „Making Mining Forest-Smart“, Washington, 2019.
- [9] OEC, „Aluminium Ore – About, Product Trades, Exporters and Importers“, 2020a. [Online]. Verfügbar: <https://oec.world/en/profile/hs92/aluminium-ore/> [Zugriff am 17.09.2020].
- [10] OEC, „Aluminium Oxide – About, Product Trades, Exporters and Importers“, 2020b. [Online]. Verfügbar: <https://oec.world/en/profile/hs92/aluminium-oxide> [Zugriff am 17.09.2020].

- [11] OEC, „Raw Aluminium – About, Product Trades, Exporters and Importer“, 2020c. [Online]. Verfügbar: <https://oec.world/en/profile/hs92/157601/> [Zugriff am 17.09.2020].
- [12] Knierzinger, Bauxite Mining in Africa, Transnational Corporate Governance and Development, 2018.
- [13] OEC, „Aluminium Bars – About, Product Trades, Exporters and Importers“, 2020d. [Online]. Verfügbar: <https://oec.world/en/profile/hs92/aluminium-bars> [Zugriff am 11.12.2020].
- [14] OEC, „Aluminium Pipes – About, Product Trades, Exporters and Importers“, [Online]. Verfügbar: <https://oec.world/en/profile/hs92/aluminium-pipes> [Zugriff am 11.12.2020].
- [15] Human Rights Watch, „What Do We Get Out of It?“, 2018.
- [16] WWF, „Rohstoffboom zwischen Gewinnen und Verlusten“, 2018.
- [17] Ehrenberger, „Life cycle assesment of magnesium components in vehicle construction“, Deutsches Institut für Luft- und Raumfahrt DLR, 2013, pp. Tab. 17, S. 84.
- [18] Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, CO₂-Verminderung in der Primäraluminiumherstellung, 2018.
- [19] Rüttinger et al, Umwelt- und Sozialauswirkungen der Bauxitgewinnung und Aluminiumherstellung in Pará, Brasilien, U. Bundesamt, Hrsg., 2016.
- [20] Mertzanis, „The opencast bauxite mining in N.E. Ghiona: Ecoenvironmental impacts and geomorphological changes (Central Greece)“, Journal of Geography and Regional Planning, Nr. Vol. 5, pp. 21–35, 2011.

- [21] Abdullah et al, „Potential Health Impacts of Bauxite Mining in Kauantan“, The Malaysian Journal of Medical Sciences, Nr. Vol.23, 2013.
- [22] W. B. Group, „Environmental, Health and Safety Guidelines for Mining“, 2007.
- [23] S. Pappas, „Livescience“, 29.09.2014. [Online]. Verfügbar: <https://www.livescience.com/28865-aluminum.html> [Zugriff am 11.12.2020].
- [24] A. Rogers, „Metalex“, 18.06.2017. [Online]. Verfügbar: <https://www.metalex.co.uk/35-facts-aluminium-planets-abundant-metal/> [Zugriff am 11.12.2020].
- [25] USGS, „Mineral Commodity Summaries“, 2020.
- [26] OEC, „Trade data: Natural graphite in powder or flakes“, [Online]. Verfügbar: <https://oec.world/en/profile/hs92/natural-graphite-in-powder-or-flakes> [Zugriff am 17.09.2020].
- [27] Schulz, K.J., Seal, R.R., Bradley, D.C. und DeYoung, J.H., Jr., „Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply“, in Graphite, 2017, pp. J1-J24.
- [28] Hund, K., et al., „Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition“, World Bank Group, 2020.
- [29] BGR Rohstoffdatenbanken, 2018.
- [30] Dorner, U., „Rohstoffrisikobewertung – Kupfer“. DERA Rohstoffinformationen 45, Berlin, 2020.
- [31] *Alle Angaben im Absatz „Lieferkette“ aus:* International Copper Study Group, „The World Copper Factbook 2019“, 2019, *wenn nicht anders angegeben.*

- [32] ICA, „The Impacts of Copper Mining in Chile Economic and Social Implications for the Country“, 2017.
- [33] Drobe, M., Vorkommen und Produktion mineralischer Rohstoffe – ein Ländervergleich, Berlin: BGR, 2020.
- [34] OECD, „OECD Economic Surveys: Chile“, 2018.
- [35] Gilsbach, L., „Kupfer. Informationen zur Nachhaltigkeit“, Berlin: BGR, 2020.
- [36] Human Rights Watch, „Human Rights & Business Resource Centre“, [Online]. Verfügbar: <https://www.business-humanrights.org> [Zugriff am 11.12.2020].
- [37] International Copper Association- Copper Alliance, „The Electric Vehicle Market and Copper Demand“, 2017.
- [38] Drobe, M., „Lithium: Informationen zur Nachhaltigkeit“, BGR, Berlin, 2020.
- [39] Flexer, V., Baspineiro, C. und Galli, C., „Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing“, Science of The Total Environment, Nr. 639, pp. 1188–1204, 2018.
- [40] Maroš Šefčovič, „Statement following the meeting with high-level industrial actors under the European Battery Alliance“, 2020.
- [41] International Manganese Institute, „IMnI Statistics“, 2019.
- [42] Tarvydas, D., Tsiropoulos, I. und Lebedeva, N., „Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth“, European Commission – Joint Research Centre, 2018.

- [43] OEC, „OEC Country profile: Gabon“, [Online]. Verfügbar: <https://oec.world/en/profile/country/gab> [Zugriff am 17.09.2020].
- [44] Duka, Y.D., Ilchenko, S.I., Kharytonov M.M. und Vasylyeva T.L., „Impact of open manganese mines on the health of children dwelling in the surrounding area“, *Emerging Health Threats Journal*, 2011.
- [45] Rühlemann, C., Kuhn, T., Vink, A., „Tiefseebergbau – Ökologische und sozio-ökonomische Auswirkungen.“, *Bürger und Staat – Meere und Ozeane*, 2019.
- [46] The Nickel Institute, „Safe Use of Nickel in the Workplace. A Guide for Health Maintenance of Workers Exposed to Nickel, Its Compounds and Alloys“, 2008.
- [47] International Nickel Study Group, „The world nickel factbook 2018“, 2018.
- [48] Donoghue, A. M., „Occupational health hazards in mining: an overview“, *Occupational Medicine*, Bd. 54, Nr. 5, pp. 283-289, 08 2004.
- [49] Reuters, „Three dead in underground mine accident at Russia's Norilsk“, 22.10.2019. [Online]. Verfügbar: <https://www.reuters.com/article/us-norilsk-nickel-accident/three-dead-in-underground-mine-accident-at-russias-nornickel-idUSKBN1X11J5> [Zugriff am 17.09.2020].
- [50] Deutsche Welle, „Die Katastrophe von Norilsk“, 05.06.2020. [Online]. Verfügbar: <https://www.dw.com/de/die-katastrophe-von-norilsk/a-53699098> [Zugriff am 17.09.2020].
- [51] A. Luhn, „Where the river runs red: can Norilsk, Russia's most polluted city, come clean?“, *The Guardian*, 15.09.2016. [Online]. Verfügbar: <https://www.theguardian.com/cities/2016/sep/15/norilsk-red-river-russias-most-polluted-city-clean> [Zugriff am 17.09.2020].

- [52] BBC, „Nornickel: „Russia probes new pollution at Arctic mining firm“, 29.06.2020. [Online]. Verfügbar: <https://www.bbc.com/news/world-europe-53218708> [Zugriff am 17.09.2020].
- [53] Green Blood, „The Guatemalans who pay the price for the west’s need for nickel“, The Guardian , 19.06.2019. [Online]. Verfügbar: <https://www.theguardian.com/environment/2019/jun/19/guatemalans-pay-price-west-need-nickel> [Zugriff am 17.09.2020].
- [54] Business & Human Rights Resource Centre, „Hudbay Minerals lawsuits (re Guatemala)“, 2020. [Online]. Verfügbar: <https://www.business-humanrights.org/en/latest-news/hudbay-minerals-lawsuits-re-guatemala/> [Zugriff am 17.09.2020].
- [55] „OEC Trading Data“, [Online]. Verfügbar: <https://oec.world/en/> [Zugriff am 17.09.2020].
- [56] „Chatham House Resource Trade Database (CHRTD)“, [Online]. Verfügbar: <https://resourcetrade.earth/> [Zugriff am 17.09.2020].
- [57] Elsner, H., Zinn –Angebot und Nachfrage bis 2020: DERA-Rohstoffinformationen NR. 20, Berlin: BGR, 2014.
- [58] Milieudefensie, „Responsible mining: Tin“, GoodElectronics, 2016.
- [59] United Nations, „Children and armed conflict: Myanmar“, 2020.
- [60] BGR, Commodity TopNews 61: Zinn aus Myanmar – Ein Anwendungsszenario zur EU-Verordnung zur Sorgfaltspflicht in Rohstofflieferketten, Berlin, 2019.
- [61] BSR, Conflict Minerals and the Democratic Republic of Congo, 2010.

- [62] IPEC, „Sectoral survey of child labour in informal tin mining in Kepulauan Bangka Belitung Province, Indonesia 2014“, 2015.
- [63] Gandenberger, C., Hermann, A., Rüttinger, L., Scho, „Entwicklung von Politikempfehlungen für die Weiterentwicklung und Ausgestaltung von strategischen Ansätzen einer nachhaltigen und effizienten Rohstoffgewinnung und -nutzung“, Umweltbundesamt, 2017.
- [64] Greenlight, „The remanufactured battery is the future“, 29.10.2018. [Online]. Verfügbar: <https://greenlight.nl/the-remanufactured-battery-is-the-future/?lang=en> [Zugriff am 17.09.2020].
- [65] Ecomento, „Vattenfall: 1000 BMW Elektroauto-Batterien für Energiespeicher-Projekte“, 16 03 2017. [Online]. Verfügbar: <https://ecomento.de/2017/03/16/vattenfall-1000-bmw-elektroauto-batterien-fuer-energiespeicher-projekte/> [Zugriff am 17.09.2020].
- [66] Ollion, L., Anta, M., Herreras, L., „Characterisation of fires caused by batteries in WEEE“, a WEEE Forum and EuRIC report, 2020.
- [67] Bundesministerium für Umwelt, „Recycling von Lithium-Ionen-Batterien – LithoRec II Abschlussberichte der beteiligten Verbundpartner“, 2017.
- [68] Schrader, C., „Die Altlast der Elektromobilität“, Spektrum, Nr. 24, 2020.
- [69] Melin, E. M., „State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review“, The Swedish Energy Agency, 2019.
- [70] Bernhart, W., „Hersteller und OEMs brauchen verlässliche Rahmenbedingungen – auf europäischer und nationaler Ebene“, Rolandberger, 14.11.2019. [Online]. Verfügbar: [https://www.rolandberger.com/de/Point-of-View/Zukunftsmarkt-Batterie-Recycling-Verpasst-Europa-\(wieder\)-den-Anschluss.html](https://www.rolandberger.com/de/Point-of-View/Zukunftsmarkt-Batterie-Recycling-Verpasst-Europa-(wieder)-den-Anschluss.html) [Zugriff am 17.09.2020].

- [71] World Bank Group, „Reuse and Recycling Environmental Sustainability of Lithium-ion Battery Energy Storage Systems“, Washington, 2020.
- [72] VDE, „Kompendium: Li-Ionen-Batterien“, 2015.
- [73] Fraunhofer, „Energiespeicher-Roadmap“, 2017.
- [74] van Laak, „Droht Aluminium das Aus als Batterieträger?“, [Online]. Verfügbar: <https://www.alu-news.de/news/droht-aluminium-das-aus-als-batterietraeger> [Zugriff am 17.09.2020].
- [75] Schmidt, M., „Rohstoffrisikobewertung – Lithium.“ DERA Rohstoffinformationen 33“, BGR, Berlin, 2017.

Impressum

Herausgeber

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn

SP Rohstoffe und Entwicklung

T +49 228 44 60-0

F +49 228 44 60-17 66

E info@giz.de

I www.bmz.de/rohstoffe

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Stilleweg 2

30655 Hannover

SP Rohstoffe und Entwicklung

T +49 (0)511-643-0

F +49 (0)511-643-2304

E rue@bgr.de

I www.bgr.de

Autor

SP Rohstoffe und Entwicklung (GIZ+ BGR)

Mit Unterstützung von

GIZ SV Mobilität

GIZ SV Abfall- und Kreislaufwirtschaft

BGR Fachbereiche „Geologie der mineralischen Rohstoffe“ (FB 1.2), "Internationale Zusammenarbeit" (FB 4.1) und der Deutschen Rohstoff-agentur (DERA)

Design

creative republic, Frankfurt am Main

Fotos & Illustrations

© creative republic

© BMZ

© GIZ

© BGR & DERA

© Shutterstock

Im Auftrag von

Bundesministerium für wirtschaftliche
Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)

Druck

Braun & Sohn, Maintal

Status

Mai 2021