

Resiliente Lieferketten in der Batterieindustrie

Publikation der wissenschaftlichen Begleitung zur Fördermaßnahme Batteriezellfertigung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz



in Kooperation mit

Herausgeber

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1
10623 Berlin

Autor:innen

Aiko Bün ting
Christoph Sprung
Franz Dietrich
Frauke Bierau-Delpont
Frederik Vorholt
Jan-Hinrich Gieschen
Julia Kowal
Julian Marscheider
Kerstin Zehbe
Matthias Trunk
Michael Lüken
Mischa Bechberger
Nikolas Oehl-Schalla
Roman Korzynietz
Sezer Solmaz
Stefan Wolf
Steven Neupert
Tabea Kirchhofer
Vera Beermann

Redaktion

Sandra Gensch
Mira Maschke

Gestaltung

VDI/VDE-IT, Anne-Sophie Piehl

Berlin, März 2023

Bildnachweise

Titelseite: j-mel/AdobeStock

in Kooperation mit

INHALT

1	Executive Summary	2
2	Lieferketten der Batteriezellfertigung	3
2.1	Fünf Batterierohstoffe im Fokus.....	7
2.1.1	Lithium.....	10
2.1.2	Nickel.....	12
2.1.3	Mangan.....	14
2.1.4	Kobalt.....	16
2.1.5	Graphit.....	18
3	Länder- und Marktkonzentration bei Abbau und Raffination	20
3.1	Lithium.....	21
3.2	Nickel.....	22
3.3	Mangan.....	23
3.4	Kobalt.....	24
3.5	Graphit.....	25
4	Europäische Wertschöpfung	26
4.1	Rohstoffgewinnung.....	29
4.1.1	Lithiumerz / -sole.....	30
4.1.2	Nickelerz.....	30
4.1.3	Manganerz.....	30
4.1.4	Kobalterz.....	30
4.1.5	Graphiterz.....	31
4.2	Materialherstellung.....	31
4.2.1	Lithiumvorprodukte.....	31
4.2.2	Nickelvorprodukte.....	31
4.2.3	Manganvorprodukte.....	32
4.2.4	Kobaltvorprodukte.....	32
4.2.5	Graphitvorprodukte.....	32
4.3	Komponentenfertigung.....	38
4.3.1	Präkusoren für Kathodenaktivmaterial.....	38
4.3.2	Kathodenaktivmaterial.....	38
4.3.3	Anodenaktivmaterial.....	38
4.4	Batteriezellfertigung.....	39
4.5	Batterierecycling.....	39
5	Risiken und Maßnahmen	42
5.1	Potenziale der Eigenversorgung.....	42
5.2	Maßnahmen.....	43
	Abbildungsverzeichnis	47
	Abkürzungsverzeichnis	49
	Glossar	50
	Anhang	51

1 EXECUTIVE SUMMARY

Die Transformation der Automobilindustrie ist in Deutschland eine zentrale Aufgabe zur Erreichung der klimapolitischen Ziele des Koalitionsvertrags. Das Bestandsziel sind 15 Millionen vollelektrische Pkw bis 2030. Voraussetzung für die Entwicklung zum Leitmarkt für Elektromobilität in Europa ist eine hohe Dynamik in diesem Transformationsprozess.

Um den Aufbau einer nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Batteriewertschöpfungskette zu unterstützen, wurde die *European Battery Alliance* (EBA) gegründet und 2019/2020 zwei *Important Projects of Common European Interest* (IPCEIs) von der Europäischen Kommission (EU KOM) genehmigt, damit das Ziel einer leistungsstarken und europäischen Batterieproduktion bis 2030 erreicht werden kann. Werden alle angekündigten Batteriezellprojekte umgesetzt, könnte bis zum Jahr 2030 in Europa ein Großteil des Bedarfs der europäischen Automobilindustrie gedeckt werden.

Ein großer Teil der Wertschöpfung und der Leistungsfähigkeit eines Elektroautos hängt an der Batterie – Europa hat jedoch derzeit bei Batteriezellen eine starke Importabhängigkeit.

Keiner der für die Batteriezellfertigung benötigten Rohstoffe wird derzeit in signifikanten Mengen in Europa gefördert. Entsprechend hoch ist die Importabhängigkeit Europas im Bereich der mineralischen Rohstoffe. Durch die weltweite Dynamik beim Aufbau von Zellfertigungskapazitäten werden jedoch neue Abhängigkeiten und Verknappungen insbesondere im Bereich der Materialzulieferung entstehen bzw. sich weiter verschärfen. Ebenfalls sind die europäischen Weiterverarbeitungskapazitäten nicht im ausreichenden Maße vorhanden.

Nach Einschätzung zahlreicher Experten wird sich bis 2030 an dieser Importabhängigkeit trotz der angekündigten europäischen Rohstoffprojekte und verstärkten Recycling nicht viel ändern. Lithium für Batterieanwendungen wird beispielsweise derzeit zu 100 % importiert. Selbst wenn die in Europa derzeit angekündigten Rohstoff- und Raffinade-Projekte umgesetzt würden, könnte Europa im Jahr 2030 nur etwa 25 % seines Lithiumbedarfs selbst fördern und ca. 50 % des Bedarfs an Lithiumzwischenprodukten selbst raffinieren. Ein ähnliches Bild ergibt sich mit Blick auf die Versorgung mit Nickel, Mangan, Kobalt und Graphit für die Batteriezellfertigung. Eine europäische Eigenversorgung mit Rohstoffen wird nicht möglich sein.

In der Versorgung mit Batteriemetallen ist und bleibt Europa somit auf internationale Kooperationen angewiesen. Vor dem Hintergrund zunehmender internationaler Spannungen nimmt die Bedeutung von Resilienz in den Lieferketten daher zu. Für Unternehmen aus dem europäischen Batterie-ökosystem ist es deshalb enorm wichtig, ihre Lieferketten zu diversifizieren: Durch Kooperationen und Direktinvestitionen kann der Einfluss auf die Lieferkette erhöht werden. Dabei gilt es auch geopolitische Risiken neu zu bewerten. Mit dem *Critical Raw Materials Act* trägt die Europäische Kommission der geopolitischen Veränderungen und der Neubewertung der Rohstoffpolitik Rechnung.

Einen langfristigeren Ausweg aus der Rohstoffabhängigkeit wird nur die Kreislaufwirtschaft bieten. Doch bevor der Übergang zu einem zirkulären Wirtschaften gelingen kann, muss der Kreislauf mit Rohstoffen gefüllt werden.

2 LIEFERKETTEN DER BATTERIEZELLFERTIGUNG

Im Jahr 2020 lag der Anteil des weltweiten Warenexports am globalen Bruttoinlandsprodukt (BIP) bei mehr als einem Fünftel.¹ Dieses enorme Ausmaß des internationalen Handels gehört zu den wesentlichen Merkmalen der Globalisierung und setzt u. a. eng verzweigte und den Globus umspannende Lieferketten voraus. Dank der heutigen weltumspannenden Vernetzung können Produktionsprozesse aufgegliedert und in beliebigen Regionen des Globus angesiedelt werden, um wirtschaftliche Vorteile zu nutzen, die sich aus unterschiedlichen Kosten, der Verfügbarkeit von Produktionsfaktoren und einem günstigen Investitionsklima ergeben.

Die gegenwärtige Störung von Produktionsprozessen und Warenströmen durch die COVID-19 Pandemie sowie geopolitische Konflikte veranschaulicht auf drastische Weise die Risiken einer auf komplexen Lieferketten basierenden bedarfssynchronen Produktion. Unternehmen können zwar oftmals kurz- und mittelfristig reagieren um die Folgen von Lieferengpässen zu vermindern und Absicherungsmaßnahmen treffen, wie den Abschluss von Versicherungen, die Erhöhung der Lagerbestände oder Verträge mit Notfalllieferanten. Allerdings ist eine langfristige Risikominderung durch Anpassung der Lieferkettenstrategie für Unternehmen in der Regel mit höheren Kosten verbunden. Da die globale Arbeitsteilung zudem eine enorme geografische Konzentration angenommen hat, ist diese Risikoreduktion teilweise kaum möglich. Bezogen auf die Wertschöpfungskette der Batteriezellfertigung sind viele Schritte stark in China konzentriert, wie die Aufbereitung bestimmter Rohstoffe oder die Kathoden- und Anodenfertigung.

Auch auf Unternehmensebene ist zum Teil eine hohe Konzentration vorzufinden. Es gibt Waren, für die es nur sehr wenige Anbieter gibt.² Diese sogenannten Oligopole sind insbesondere dann potenziell problematisch, wenn die nachgefragten Waren nicht mit vertretbarem Aufwand substituiert werden können. Dementsprechend sind in diesen Fällen die

Optionen zur Diversifizierung der Beschaffung teilweise stark limitiert und nachfragende Unternehmen haben somit kaum Möglichkeiten, ihre Abhängigkeit zu reduzieren. Dies trifft bezogen auf die Batteriezellfertigung beispielsweise auf bestimmte Rohstoffe zu (insbesondere die Lithiumprimärförderung, Kobalt, Nickel und Batteriegraphit).

Der Freihandel verändert sich. Seit der Finanzkrise von 2008/2009 wächst der internationale Handel nur noch langsam und zudem kamen vermehrt globalisierungskritische Regierungen an die Macht.³ Darüber hinaus ist die World Trade Organisation (WTO) in ihrer Rolle als Organisatorin des Welthandels durch zahlreiche innere und äußere Konflikte geschwächt (s. INFOBOX⁴: Ziele der Welthandelsorganisation). Dadurch wird es wahrscheinlicher, dass Konflikte internationale Handelsbeziehungen beeinträchtigen. Die Zeiten eines von politischer Einflussnahme weitgehend losgelösten Handels, welcher definierten Regeln folgt und Lieferketten nach kapitalistischer Logik optimiert, scheinen vorerst zu Ende zu gehen. Es droht die Verschiebung von einem gleichberechtigten, regelbasierten System hin zu einer machtbasierten Handelsordnung. Diese Entwicklung generiert neue Risiken für den internationalen Handel und vergrößert die Notwendigkeit resilienter Lieferketten. Sie dürfte darüber hinaus auch zu einer stärkeren Intervention der Politik in Handelsfragen führen.

Ziele der Welthandelsorganisation:

Sind die Liberalisierung der Märkte, die Senkung von Zöllen und die Schaffung einer Welthandelsordnung. Seit August 2016 hat die WTO 164 Mitglieder, auf die rund 98 Prozent des weltweiten Warenhandels entfallen.⁵ Seit Dezember 2019 ist der Appellate Body, das ständige Schiedsgericht der WTO, beschlussunfähig. Auf der 12. Ministerkonferenz der WTO im Juni 2022 wurde eine Reform der WTO beschlossen, die binnen zwei Jahren wieder zu einem funktionsfähigen

- 1 Bundeszentrale für politische Bildung (2021): Entwicklung des grenzüberschreitenden Warenhandels. Online: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/globalisierung/52543/entwicklung-des-grenzueberschreitenden-warenhandels/> (Letzter Zugriff: 30.11.2022)
- 2 Deloitte (2021): Globale Lieferketten – Kommt es zu einem Reshoring? Online: <https://www2.deloitte.com/ch/de/pages/consumer-industrial-products/articles/globale-lieferketten-kommt-es-zu-einem-reshoring.html> (Letzter Zugriff: 30.11.2022)
- 3 Deloitte (2021): Globale Lieferketten – Kommt es zu einem Reshoring? Online: <https://www2.deloitte.com/ch/de/pages/consumer-industrial-products/articles/globale-lieferketten-kommt-es-zu-einem-reshoring.html> (Letzter Zugriff: 30.11.2022)
- 4 Caporal et al. (2019): The WTO at a Crossroad. Center for strategic & international studies (CSIS). Online: https://www.wita.org/wp-content/uploads/2019/09/190918_Caporal-et-al_WTOCrossroad_WEB_v2.pdf: (Letzter Zugriff: 12.12.2022)
- 5 Bundeszentrale für politische Bildung (2017): WTO- World Trade Organization. Online: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/globalisierung/52802/wto-world-trade-organization/> (letzter Zugriff: 14.12.2022)

higen Appellate Body führen soll.⁶ Die EU hat unterdessen zusammen mit 15 weiteren WTO-Mitgliedern eine Interims-lösung geschaffen. Dennoch erodiert zusehends die Fähigkeit der WTO, Handelskonflikte einvernehmlich zu lösen.

Der Aufbau der Batterieindustrie ist politisch

In der Batterieindustrie gibt es eine starke Konzentration von Produktionskapazitäten in Ostasien und insbesondere in China. Diese ist eine Folge der dortigen Akkumulation der Batterieproduktion für elektronische Konsumgüter und der daraus resultierenden Ausbildung eines industriellen Ökosystems. Mit dem Aufkommen von Elektrofahrzeugen und intensiver staatlicher Unterstützung hat die dortige Batterieindustrie schnell skaliert, um den wachsenden Bedarf an Fahrzeugbatterien zu decken. Diese hohe Konzentration schafft technologische Abhängigkeiten und mindert die Resilienz der europäischen Automobilindustrie. Entsprechend wurden auch in anderen Weltregionen förderpolitische Maßnahmen mit Lenkungswirkung ergriffen, um den Hochlauf der Elektrofahrzeugproduktion voranzubringen und den Markt zu diversifizieren. Nachfolgend werden staatliche Interventionen in China, Europa und den USA betrachtet, die in dieser Reihenfolge in 2021 die wichtigsten Absatzmärkte für Elektrofahrzeuge waren.

China: In China werden die Elektromobilität und die Batterieindustrie seit langem staatlich unterstützt. Infolge der Subventionen für Elektrofahrzeuge, die in den letzten zehn Jahren eine rasche Expansion der Produktionsbasis in China begünstigt haben, verfügt das Land heute über den größten Absatzmarkt. Im Zuge dessen ist auch die Batteriezellfertigung in China stark expandiert. Chinesische Zellhersteller verfügen über die derzeit mit Abstand größten Zellfertigungskapazitäten weltweit. Im Jahr 2021 lag ihr Anteil bei rund 70 % des globalen Marktes.⁷ Darüber hinaus dominieren chinesische Unternehmen auch viele weitere Bereiche der Wertschöpfung wie die Komponentenfertigung oder die Lieferketten für relevante Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Nickel und insbesondere Graphit.

Im Oktober 2020 gab China das Ziel bekannt, dass im Jahr 2025 NEVs (BEV, PHEV und FCEV) 20 % an neuen Pkw-Verkäufe ausmachen sollen.⁸ Um die Elektrifizierung des Verkehrs zu beschleunigen und den angestrebte NEV-Anteil zu erreichen, setzt China verschiedene politische Instrumente ein, einschließlich flexibler Steuerpolitik und Subventionen. Im Jahr 2021 wurden in China mit 3,3 Mio. elektrisch angetriebener Pkw (BEV und PHEV) deutlich mehr Fahrzeuge verkauft als in Europa, wo im selben Jahr 2,3 Mio. Fahrzeuge verkauft wurden.⁹ Laut CAAM (China Association of Automobile Manufacturers) hat der Anteil von NEVs an den Neuzulassungen die für 2025 aufgegebene Zielmarke bereits im ersten Halbjahr 2022 überschritten.

Ab dem 1. Januar 2023 gewährt die chinesische Regierung Käufern von Elektrofahrzeugen (EVs) keine Subventionen mehr. Einige Maßnahmen zur Stützung der EV-Verkäufe bleiben aber bestehen: So können EV-Käufer bis Ende 2023 Anspruch auf eine zehnpromtente Umsatzsteuerbefreiung geltend machen. Außerdem bleibt das Kreditsystem für umweltfreundliche Autos bestehen, das jährliche Compliance-Anforderungen für Autohersteller festlegt. Unternehmen, die das EV-Proportionsziel in ihrer Fahrzeugflotte überschreiten, können überschüssige Credits verkaufen, während diejenigen, die darunter bleiben, Credits kaufen oder eine Strafe zahlen müssen.¹⁰

Europa: In der Förderung des Aufbaus der europäischen Batterieindustrie sieht die EU eine strategische Notwendigkeit für Europa und in Batterien eine Schlüsseltechnologie, um die Wettbewerbsfähigkeit seiner Automobilindustrie zu gewährleisten. Daher verfolgt die EU das in der industriepolitischen Strategie festgelegte Ziel, Europa wieder an die Spitze einer für die Zukunft gewappneten Schlüsselindustrie zu führen, die sowohl Beschäftigung und Wachstum im Rahmen der Kreislaufwirtschaft fördert, als auch saubere Mobilität sowie eine bessere Umwelt und Lebensqualität für die Bürgerinnen und Bürger der EU gewährleistet.¹¹ Bis 2030 soll die europäische Automobilindustrie mit nachhaltig produzierten Batterien versorgt werden können. Ein zweiter Aspekt ist die Stärkung der Automobilindustrie durch den Aufbau eines innovativen europäischen Batterie-Ökosystems, in

6 World Trade Organization (2022): Members welcome MC12 commitment to address dispute settlement. Online: https://www.wto.org/english/news_e/news22_e/dsb_30jun22_e.htm (letzter Zugriff: 14.12.2022)

7 SNE Research (2022): Production Capacity of Global EV Battery Makers Forecasted to Reach 8,247GWh in 2030. Online: https://www.sneresearch.com/en/insight/release_view/17/page/12 (letzter Zugriff: 12.12.2022)

8 ICCT (2021): A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS

9 IEA (2022): Electric Vehicle Outlook 2022. Online: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf> (letzter Zugriff: 12.12.2022)

10 <https://chinadiologue.net/en/digest/china-ends-electric-vehicle-subsidies/> (letzter Zugriff: 12.12.2022)

11 COM (2018) 293 final: EUROPA IN BEWEGUNG- Nachhaltige Mobilität für Europa: sicher, vernetzt und umweltfreundlich ANNEX 2 „Strategischer Aktionsplan für Batterien“

dem Unternehmen und Forschungsinstitutionen Innovationen von der Forschung in die Produktion überführen. Ferner soll die Abhängigkeit von Importen insbesondere im Bereich der Fahrzeugbatterien reduziert werden. Diese Maßnahmen schließen nicht-europäische Akteure dementsprechend weder hinsichtlich der finanziellen Förderung noch über Regularien per se aus dem Binnenmarkt aus.

Mit dem Förderinstrument „*Important Project of Common European Interest*“ (kurz IPCEI) wurden 2019 und 2021 zwei groß angelegte Programme für die Etablierung einer nachhaltigen Batteriewertschöpfungskette in Europa mit einem Fördervolumen von bis zu 3,2 bzw. 2,9 Mrd. Euro gestartet.¹² Bei der Gestaltung dieses Förderinstruments hat die EU-Kommission großen Wert auf die Konformität mit den Regeln der WTO gelegt. Das ist bedeutend, da sich diese marktnahe Förderung im Grenzbereich dessen bewegt, was die Regeln der WTO hinsichtlich der Unterstützung der Industrie zulassen.

Zudem werden in der EU-Regularien mit dem Ziel vorbereitet, das Angebot an kritischen Rohstoffen deutlich zu erhöhen und zu diversifizieren, die Kreislaufwirtschaft zu stärken und Forschung und Innovation zu unterstützen. Die Europäische Batterieverordnung wird sicherstellen, dass besonders hohe Nachhaltigkeitsanforderungen an Batterie(zelle)n gestellt werden, die in Europa produziert und gehandelt werden.¹³ Durch den *European Critical Raw Materials Act* wird eine Regulation angestrebt, die die Versorgung mit kritischen Rohstoffen sichern und infolgedessen strategischen Abhängigkeiten der EU verringern soll.¹⁴ Darüber hinaus haben sich die EU-Mitgliedstaaten am 1. Dezember 2022 auf ein neues EU-Lieferkettengesetz geeinigt, das Unternehmen zum sorgfältigen Umgang mit den sozialen und ökologischen Wirkungen in der gesamten Lieferkette, inklusive des eigenen Geschäftsbereichs, verpflichten wird.¹⁵

USA: In den USA wurden seit 2021 mehrere Gesetze verabschiedet, die insgesamt mehrere hundert Mrd. US-Dollar für den Klimaschutz, die Transformation der Energieversorgung und Auf- und Ausbau von Infrastrukturen vorsehen. Davon wird auch die Batterieindustrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette sowie Hersteller von Elektrofahrzeugen profitieren. Über das *Bipartisan Infrastructure Law*¹⁶ wurden im Oktober 2022 bspw. 2,8 Mrd. US-Dollar zur Unterstützung von kommerziellen inländischen Anlagen zur Gewinnung und Verarbeitung von Lithium und Graphit und zur Batterieherstellung bereitgestellt. Im März 2022 gab der US-Präsident dem Verteidigungsministerium (DoD) unter Berufung auf den *Defense Production Act* (DPA) die Befugnis, den Abbau und die Verarbeitung wichtiger Materialien für die Lieferkette von Großbatterien im Inland zu steigern. Im Sommer 2022 verabschiedete der US-Kongress zudem das größte Klimagesetz in der Geschichte des Landes, das Gesetz zur Verringerung der Inflation.¹⁷ Der *Inflation Reduction Act* (IRA) sieht 368 Mrd. US-Dollar u. a. zur Förderung von sauberer Energieerzeugung, emissionsfreien Fahrzeugen und sauberen Industrie- und Fertigungsverfahren vor. Nach derzeitiger Ausgestaltung sieht das Gesetz u. a. Steuergutschriften von bis zu 50 % für autonome Energiespeicher oder aber von 7.500 US-Dollar für emissionsfreie Fahrzeuge vor. Darüber hinaus sind Steuergutschriften für die inländische Produktion und den Verkauf von qualifizierten Komponenten wie bspw. Batterien vorgesehen.

Es sind Einschränkungen wie im Fall der Gewährung von Steuergutschriften für Elektrofahrzeuge, die protektionistisch wirken und international für Verstimmungen sorgen. Hier wird u. a. vorausgesetzt, dass die finale Herstellung der Fahrzeuge in Nordamerika erfolgt und deren Traktionsbatterien aus Komponenten aus bestimmten Ländern bestehen. Die EU ist der Ansicht, dass rund 200 Mrd. Euro (207 Mrd. Dollar) des gesamten Fördervolumens des IRA an Bestimmungen über lokal produzierte Inhalte gebunden sind, die möglicherweise gegen die Regeln der WTO verstoßen.¹⁸ Die EU ist aber nicht die einzige Organisation, die sich gegen das neue Gesetz ausspricht. China hat das Gesetz kritisiert und nicht näher be-

-
- 12 Mitteilungen der Europäischen Kommission. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6705 und https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_226 (Letzter Zugriff: 30.11.2022)
- 13 EU Parlament (2022): Neue EU-Vorschriften für nachhaltigere und ethischere Batterien. Online: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20220228STO24218/new-eu-rules-for-more-sustainable-and-ethical-batteries> (Letzter Zugriff: 30.11.2022)
- 14 EU Commission (2022): European Critical Raw Materials Act. Online: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13597-European-Critical-Raw-Materials-Act_en (Letzter Zugriff: 30.11.2022)
- 15 Deutsche Presse-Agentur (2022): EU-Staaten einig bei Lieferkettengesetz. Online: <https://europeannewsroom.com/de/eu-staaten-einig-bei-lieferkettengesetz/> (Letzter Zugriff: 14.12.2022)
- 16 President Biden's Bipartisan Infrastructure Law. Online: <https://www.whitehouse.gov/bipartisan-infrastructure-law/> (Letzter Zugriff: 30.11.2022)
- 17 Inflation Reduction Act of 2022. Online: <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text> (Letzter Zugriff: 30.11.2022)
- 18 Reuters (2022): Explainer: Why the U.S. Inflation Reduction Act has Europe up in arms. Online: <https://www.reuters.com/markets/why-us-inflation-reduction-act-has-europe-up-arms-2022-11-30/> (Letzter Zugriff: 01.12.2022)

zeichnete Maßnahmen angedroht, um seine Interessen vor dem „diskriminierenden“ Gesetz zu schützen. Auch Südkorea befürchtet, dass seine Autohersteller nicht in den Genuss der US-Steuererleichterungen kommen werden.¹⁹

Batterienachfrage wird sich vervielfachen

Das Ergreifen substanzieller wirtschaftspolitischer Maßnahmen zur Lenkung des Auf- und Ausbaus der Batterieindustrie ist angesichts des Marktvolumens und dessen prognostizierten Wachstums evident. Der weltweite Markt für Lithium-Ionen-Batterien (LIB) im Jahr 2021 wurde auf etwa 42 Mrd. USD geschätzt und Analysten von McKinsey gehen davon aus, dass dieser bis 2030 im Durchschnitt um mehr als 20 % pro Jahr wachsen und Ende des Jahrzehnts weltweit mindestens 360 Mrd. US-Dollar erreichen wird.²⁰

Im ersten Halbjahr 2022 stieg laut Adamas Intelligence die weltweit in allen neu verkauften Elektrofahrzeugen für den Personenverkehr eingesetzte Batteriekapazität gegenüber dem Vorjahreszeitraum um 79 % auf insgesamt fast 200 GWh an.²¹ Die Marktanalyse der wissenschaftlichen Begleitung zeigt, dass die globalen Produktionskapazitäten der Zellfertiger von derzeit rund 600 GWh/a bis 2030 auf über 6.000 GWh/a ansteigen könnten, wenn die angekündigten Projekte vollständig umgesetzt werden.

Die steigende Nachfrage nach und Produktion von LIB führt dazu, dass neben etablierten Anbietern von Batteriezellen auch Startup-Unternehmen in der Lieferkette in Erscheinung treten. Zeitgleich diversifizieren Erstausrüster (Original Equipment Manufacturer, OEM) der Automobilindustrie ihre Zulieferer und erhöhen die Produktion von LIB oder beschließen den Betrieb eigener Giga-Fabriken, wobei sie dabei teilweise sogar Verträge mit Bergbauunternehmen über die Versorgung mit Rohstoffen abschließen. Damit erreichen diese Unternehmen eine enorme Fertigungstiefe und haben Einfluss auf große Teile der Wertschöpfungskette.

Lieferketten der Batterieindustrie sind hoch komplex

Die erfolgreiche Verankerung der Elektromobilität wird wesentlich durch den Preis der Batterie mitbestimmt, die mit bis zu 50 % der Gesamtkosten die teuerste Komponente eines Elektrofahrzeugs ist. Bei der Herstellung von LIBs machen wiederum die Materialkosten den größten Teil der gesamten Batteriekosten aus. Jede LIB ist aus den Grundbestandteilen Gehäuse, positive Elektrode (Kathode), negative Elektrode (Anode), Elektrolyt und Separator aufgebaut. Das Tortendiagramm im Zentrum von Abbildung 1 zeigt die Materialbestandteile entsprechend der Gewichtsanteile einer Beispielbatteriezelle. Die teuerste Komponente der Batteriezelle ist das Kathodenmaterial, das zusammen mit dem Anodenmaterial rund 60 % der Materialkosten ausmacht. Während die Anode meist aus natürlichem und synthetischem Graphit gefertigt wird, kommen für die Kathode Lithium-Metalloxide in unterschiedlicher Zusammensetzung infrage. Dementsprechend werden für die Batteriezellfertigung Rohstoffe benötigt, die in Abhängigkeit der Zelltechnologie variieren. Folglich sind die Rohstofflieferketten der Batteriezellfertigung entsprechend vielfältig. In dieser Studie wurden 95 Roh- und Zwischenprodukte entlang der Wertschöpfungskette vom Rohmaterial bis zu den Ausgangsstoffen für die Batteriezellfertigung für die am weitesten verbreiteten Zelltechnologien NMC, NCA und LF(M)P identifiziert (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1 visualisiert die im weltweit gehandelten und für die Wertschöpfungskette der Batteriezellfertigung relevanten Zwischenprodukte in der Wertschöpfungskette vom Rohstoff (äußerer Ring) über Raffinate und Zwischenprodukte bis hin zu den Ausgangsstoffen für die Fertigung von Batteriezellen auf Basis der gängigen Kathodenmaterialien NMC, NCA und LF(M)P und des Anodenmaterials natürlicher/synthetischer Graphit (innerer Ring). Das Tortendiagramm im Zentrum zeigt die Materialbestandteile entsprechend der Gewichtsanteile einer Beispielbatteriezelle. Zu beachten ist, dass Zwischenprodukte in unterschiedlichen Qualitätsstufen bzw. mit unterschiedlichen Spezifikationen gehandelt werden und nur ein Teil der am Markt verfügbaren bzw. gehandelten Zwischenprodukte sich auch tatsächlich auch für die Batteriezellfertigung eignet.

19 EU seeks changes to 'discriminatory' U.S. Inflation Reduction Act. Online: <https://www.cbnews.com/eu-seeks-changes-to-discriminatory-u-s-inflation-reduction-act/> (Letzter Zugriff: 01.12.2022)

20 McKinsey (2022): Capturing the battery value-chain opportunity. Online: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/capturing-the-battery-value-chain-opportunity> (Letzter Zugriff 01.12.2022)

21 Adamas Intelligence: State of Charge: EVs, Batteries and Battery Materials, 2022

Keine Zelltechnologie dominant

Am häufigsten werden derzeit LIB in Elektrofahrzeugen verbaut, deren Batteriezellen aus dem Kathodenaktivmaterial Nickel-Mangan-Kobalt-Mischoxid (NMC) und dem Anodenaktivmaterial Graphit aufgebaut sind. Mehr als die Hälfte der knapp 200 GWh im ersten Halbjahr 2022 verbauten Zellen basierte auf der NMC-Technologie.²² Zuletzt nahm jedoch der Einsatz von Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien (LFP) stetig zu. Laut Adamas Intelligence lag deren Anteil in H1 2022 bei rund 53 GWh (27 % des Gesamtvolumens). Weitere Anteile entfielen auf NCA und LMO Technologien.

Zellen auf Basis von NMC-Kathoden werden auch zukünftig eine bedeutende Rolle bei Batterien für die Elektromobilität spielen. Deren Bestandteile Lithium, Nickel, Mangan, Kobalt und (natürlicher und synthetischer) Graphit sind folglich nicht nur essentiell für die Funktionalität einer NMC-Zelle, sondern über den Faktor Kosten auch direkt mit dem Erfolg der Elektromobilität verknüpft. Sie sind daher Gegenstand dieser Studie. Weitere Zellbestandteile wie bspw. Aluminium werden in dieser Studie aufgrund deren aktuell unkritischer Versorgungssituation bzw. Preisentwicklung nicht näher betrachtet.

2.1 Fünf Batterierohstoffe im Fokus

Die aufgrund ihrer ökonomischen Bedeutung sowie ihrer Relevanz in der ökologischen Bilanz von Batteriezellen in dieser Studie betrachteten Rohstoffe Lithium, Nickel, Mangan, Kobalt und (natürlicher und synthetischer) Graphit weisen unterschiedlich komplexe Lieferketten auf. Wie der Überblick über die Lieferketten von Rohstoffen, Vor- und Zwischenprodukten der Batteriezellfertigung in Abbildung 1 verdeutlicht, lassen sich bestimmte Vorprodukte über verschiedene Zwischenprodukte herstellen. Nickelsulfat lässt sich beispielsweise aus verschiedenen Ausgangsstoffen wie z. B. Nickelmatte, Nickelmetall oder Nickel-haltigem MSP/MHP herstellen. Andere Vorprodukte können dagegen nur aus einem ganz bestimmten Zwischenprodukt hergestellt werden (z. B. natürlicher Graphit). Zudem wird die Batteriezellfertigung bei Lithium, Kobalt und Graphit ab ca. 2030 den größten Teil von deren Verwertung ausmachen. Bei anderen Rohstoffen werden es geringe Prozentsätze (z. B. Nickel) oder gar Promille (z. B. Mangan) des Welthandels sein. Bei einigen Rohstoffen handelt es sich um sog. Massenrohstoffe (z. B. Nickel, Mangan), diese Märkte werden jedoch mit zunehmender Weiterverarbeitung deutlich kleiner und spezialisierter (z. B. hochreines Nickel- bzw. Mangansulfat). Im Folgenden werden die betrachteten Rohstoffe hinsichtlich ihrer geographischen, ökonomischen und technologischen Eigenschaften vorgestellt.

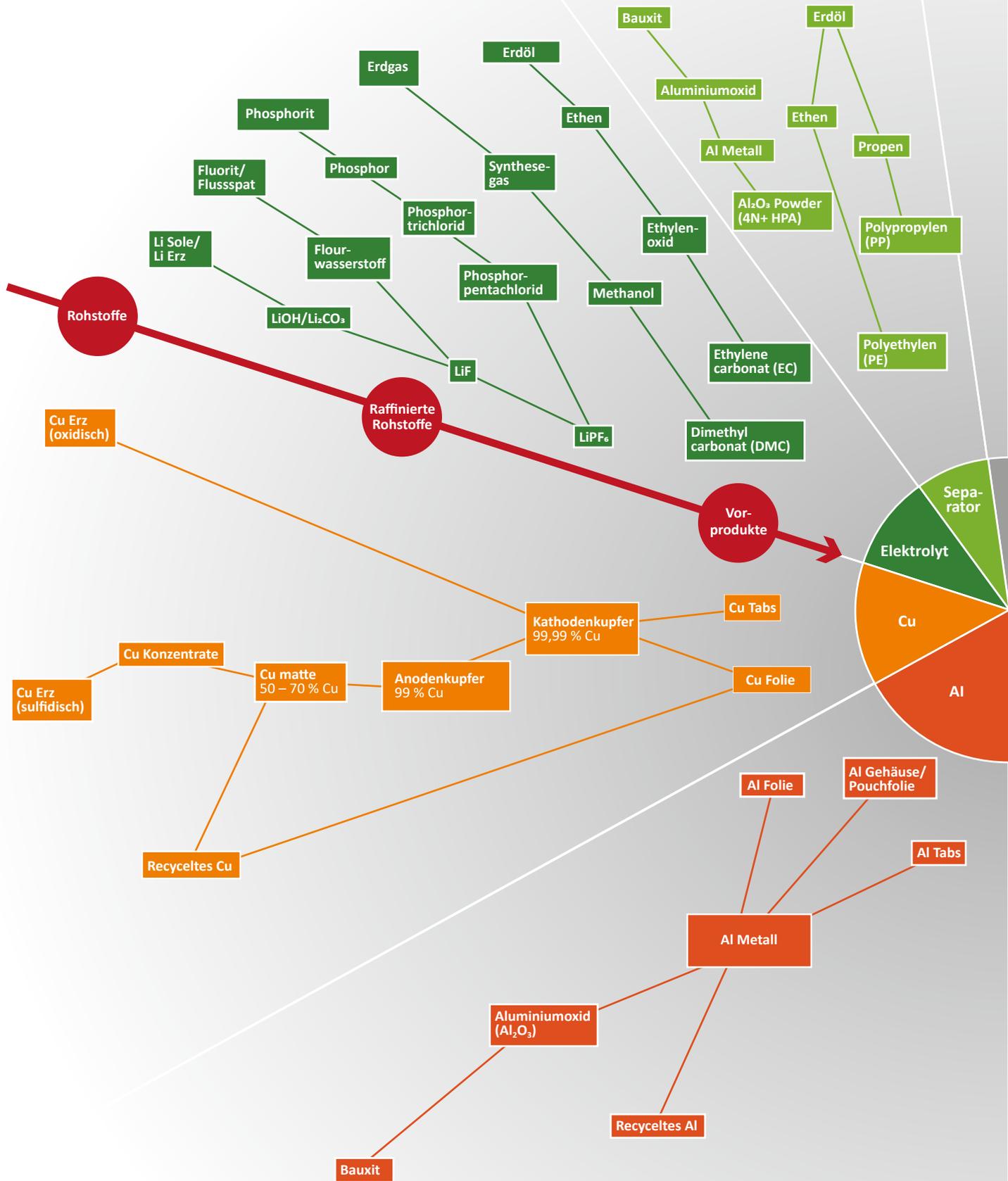
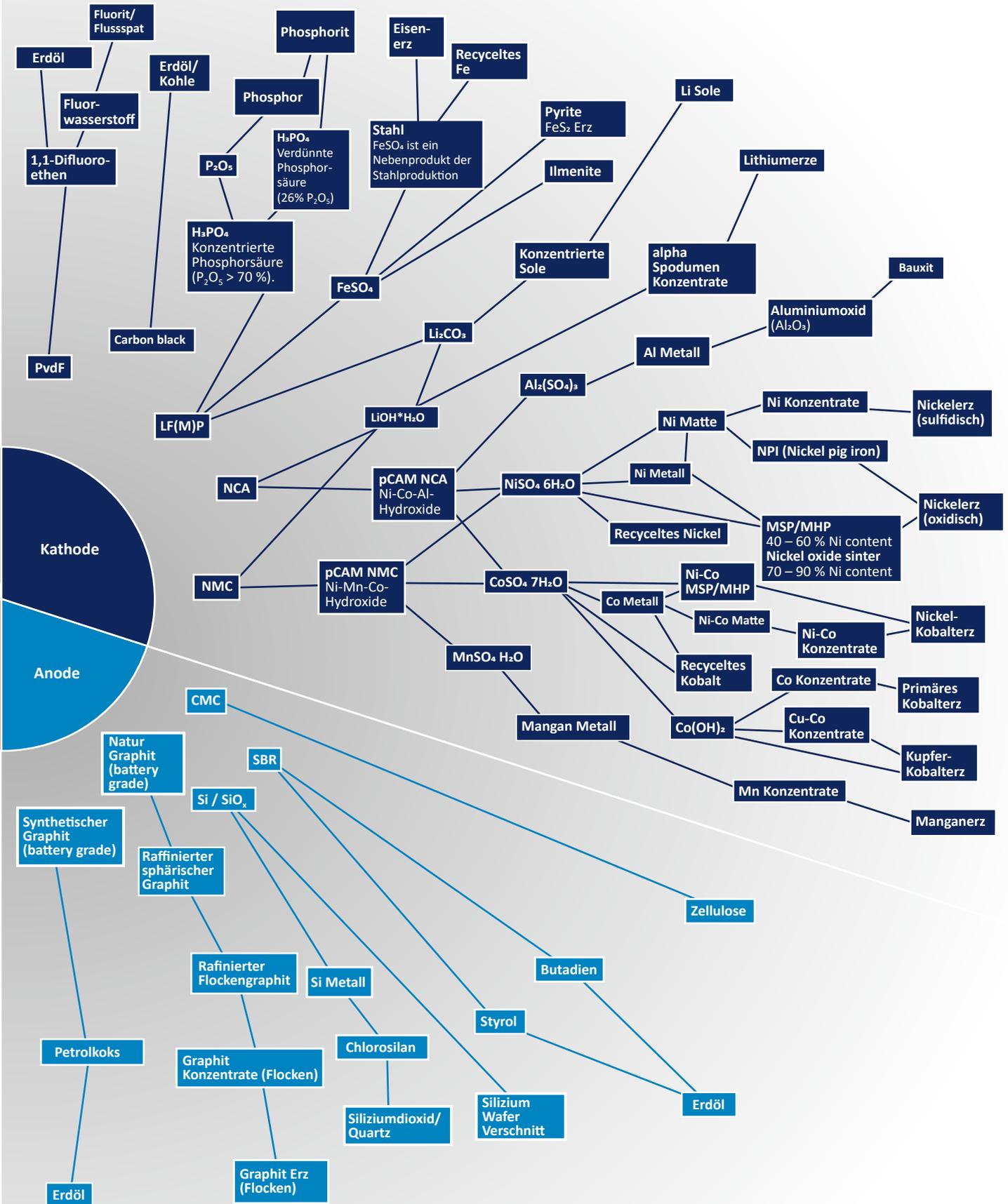


Abbildung 1: Übersichtsgrafik Lieferketten der Batteriezellfertigung; betrachteten Zwischenprodukte in der Wertschöpfungskette vom Rohstoff über Raffinate und Zwischenprodukte bis hin zum Präkursor-Material, den Ausgangsstoffen für die Batteriezellfertigung. Das Diagramm im Zentrum zeigt die Materialbestandteile einer Beispielbatterie-zelle entsprechend ihrer Gewichtsanteile (*eigene Annahmen). Eigene Darstellung.



2.1.1 Lithium

Rohstoffeigenschaften und Vorkommen. Lithium in Reinform ist das leichteste feste Element. Aufgrund seiner hohen Reaktionsfreudigkeit existiert es in der Natur jedoch nicht als reines Metall, sondern ausschließlich in Form von Lithiumsalzen. Diese treten in fester Form als Mineralien oder in gelöster Form bspw. in Salzseen auf. Lithium wird derzeit nur aus Landreserven gewonnen, die sich weltweit auf ca. 22 Mio. t (Lithium Inhalt) belaufen. Die globalen Ressourcen an Lithium umfassen etwa 89 Mio. t (Lithium Inhalt); über die Hälfte dieser Ressourcen entfällt auf Südamerika, im Speziellen auf Bolivien (21 Mio. t), Argentinien (19 Mio. t) und Chile (10 Mio. t).²³

Förderung und Raffination. 2021 wurden weltweit rund 105 kt Lithium (Inhalt) gefördert, wobei Australien, Chile und China rund 90 % der Weltproduktion auf sich vereinen. 60 % der Gewinnung entfällt auf Hardrock, rund 40 % auf die Gewinnung aus Solen.²⁴

Die Aufbereitung von Lithium zu Batterievorprodukten wie Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid ist je nach Verunreinigungsgrad sehr aufwendig und bedarf mehrerer chemischer Prozesse. Die Raffination der Gesamtfördermenge an Lithium erfolgte 2021 zu 58 % in China und zu 30 % in Chile, wodurch bei der Aufbereitung von Lithium eine hohe Länderkonzentration vorliegt (HHI 4,264).

Hauptanwendung und Bedarf für Batterien. Die Hauptanwendung von Lithium ist die Produktion von Lithiumbatterien (70 %). Weitere klassische Anwendungen von Lithium sind Keramik- und Glasherstellung (15 %), Schmiermittel (4 %) sowie metallurgische Prozesse (2 %).^{1,25} In einer 75 kWh Batterie mit NMC622-Zellen befinden sich rund 9 kg Lithium. Für die Produktion einer GWh dieses Zelltyps werden etwa 118 t Lithium benötigt. Laut Adamas Intelligence wurden im ersten Halbjahr 2022 weltweit ca. 117 kt Lithiumkarbonat-Äquivalent („LCE“) in den Batterien aller neu verkauften Elektroautos für den Personenverkehr verbaut, was einem Anstieg von 76 % gegenüber dem Vorjahr entspricht.²⁶

Marktentwicklung. Bis 2030 wird der Lithiumbedarf der Batteriezellfertigung das bis zu 21-fache des Bedarfs im Jahr 2021 betragen. In dem Fall würde nur der Bedarf der Zellfertigung etwa das 7-fache des gesamten globalen Lithiumangebots aus dem Jahr 2020 ausmachen.

Der Preis für Lithium ist nach zwei rückläufigen Jahren 2021 deutlich und Anfang 2022 sogar sprunghaft angestiegen. Im Gegensatz zu anderen Rohstoffen verlief das Preisniveau von Lithium in den letzten Monaten auf diesem sehr hohen Niveau.

23 Schmidt, M. (2023): Rohstoffrisikobewertung – Lithium. – DERA; Rohstoffinformationen 54: 81 S., Berlin (Letzter Zugriff: 03.02.2022)

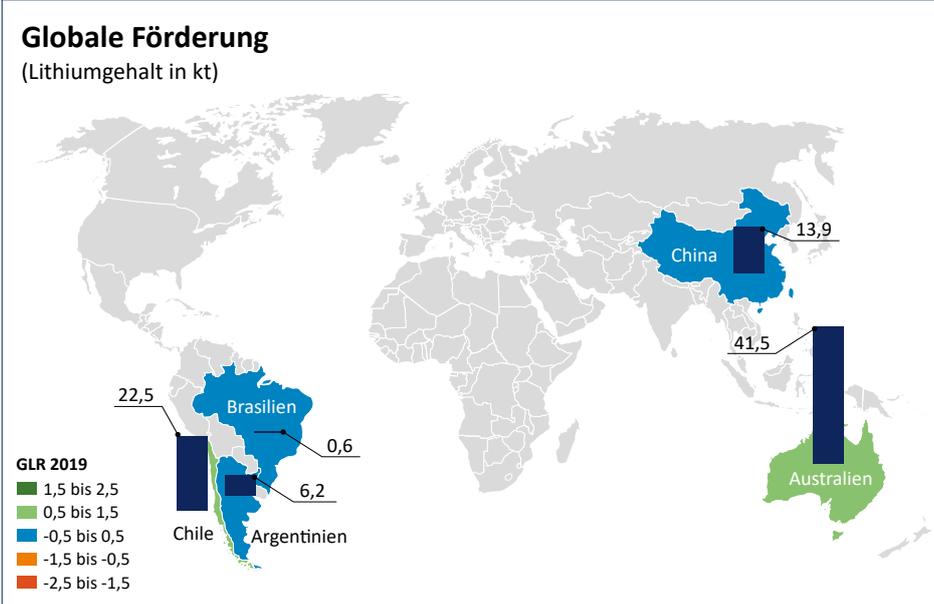
24 Schmidt, M. (2022): Rohstoffrisikobewertung – Lithium 2030 – Update (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

25 <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-lithium.pdf> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

26 Adamas Intelligence: State of Charge: EVs, Batteries and Battery Materials, 2022

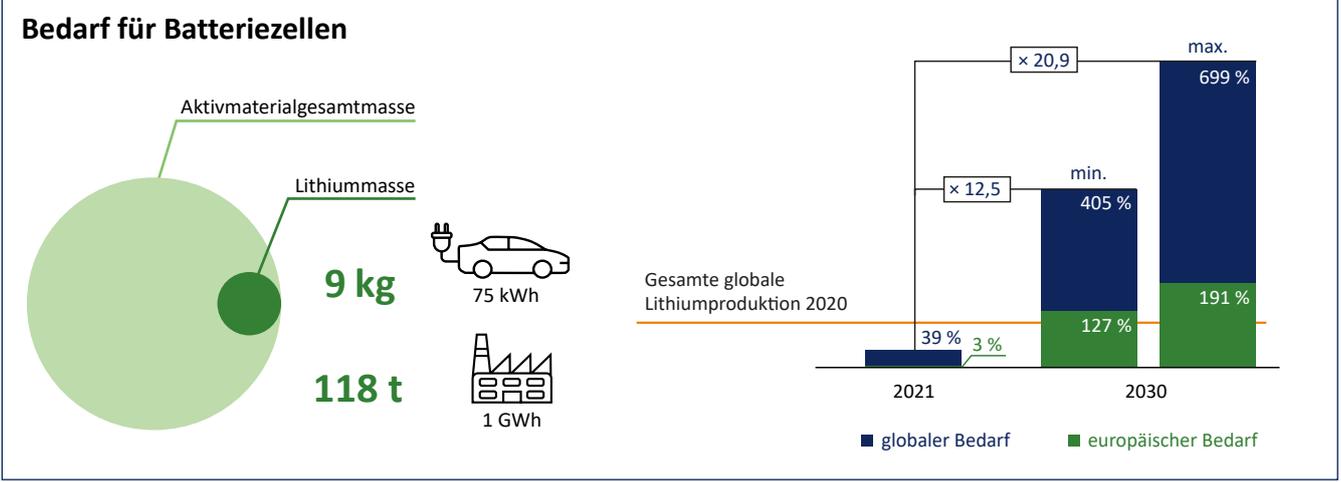
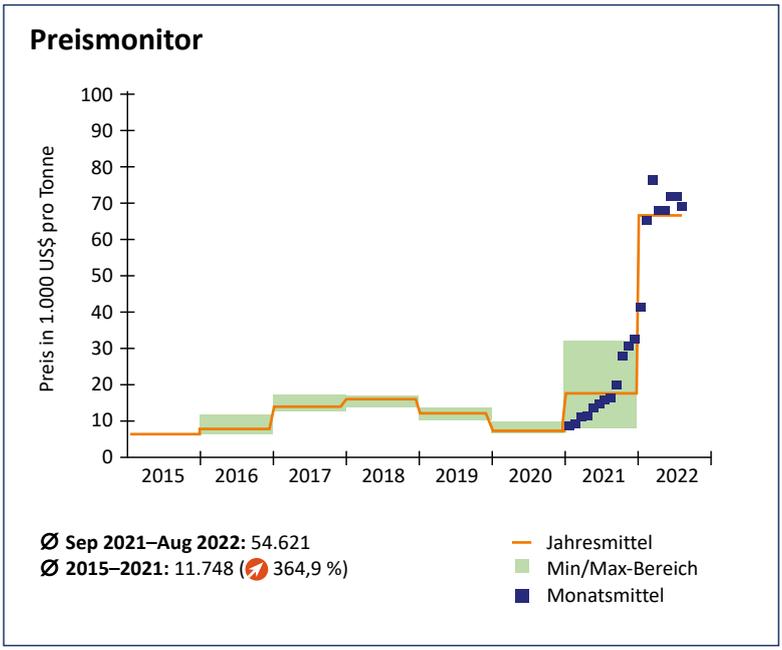
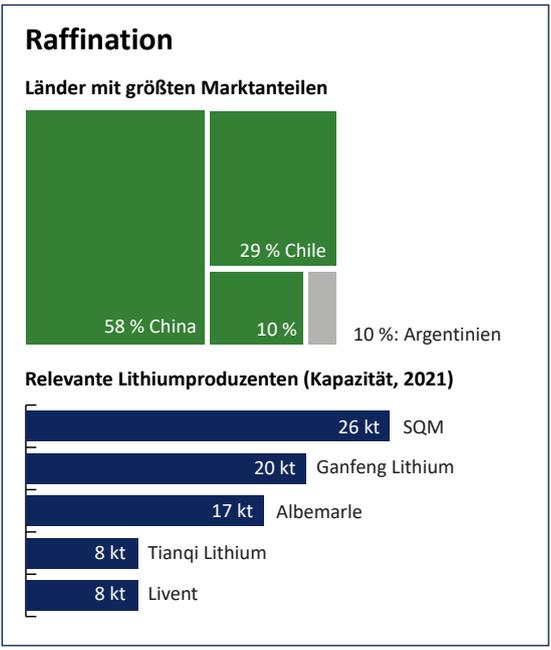
Li

Rohstoffsteckbrief Lithium



Einschätzung

Die Nachfrage nach Lithium wird bis 2030 enorm ansteigen. Entsprechend muss die Rohstoffgewinnung ausgebaut werden. Sollten Projekte nicht wie geplant umgesetzt werden, dann wird 2030 ein deutliches Defizit vorliegen.¹



¹ McKinsey (2023); Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular; <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-2030-resilient-sustainable-and-circular#/>

2.1.2 Nickel

Rohstoffeigenschaften und Vorkommen. Nickel ist das fünfthäufigste Element auf der Erde.²⁷ In der Natur kommt es hauptsächlich in Kombination mit Eisen und Schwefel sowie in Form von Nickel-Lateriterzen vor, die sich durch geologische Prozesse vorwiegend in tropischen Regionen gebildet haben. Große Vorkommen befinden sich u. a. auf den Philippinen und in Indonesien.²⁸ Die globalen Ressourcen an Nickel belaufen sich auf schätzungsweise knapp 300 Mio. t, wobei angenommen wird, dass sich ähnliche Mengen auf dem Grund der Weltmeere befinden.²⁷ Trotz des niedrigeren Nickelgehalts hat die Förderung von Lateriterzen aufgrund hoher Nachfrage sowie besserer Verarbeitungstechniken in den letzten Jahren stark zugenommen. Der nickelreichere Pentlandit stellt jedoch weiterhin eine wichtige Nickelquelle dar, da er sich aufgrund seines hohen Nickelgehalts besser als Ausgangsstoff für die Batterieindustrie eignet.

Förderung und Raffination. Im Jahr 2021 wurden weltweit rund 2.58 Mio. t Nickelerz abgebaut. Mit etwa 60 % erfolgte der Abbau zum großen Teil im West-Pazifischen Raum. Mehr als die Hälfte der Gesamtfördermenge wurde in China (748 kt) und in Indonesien (645 kt) raffiniert. Zwar stechen zwei Unternehmen mit sehr hohen Produktionskapazitäten hervor, dennoch liegt nur eine mäßige Marktkonzentration vor.

Hauptanwendung und Bedarf für Batterien. Der große Bedarf an Nickel resultiert aus dem sprunghaften Anstieg der weltweiten Verkäufe von Elektrofahrzeugen, verbunden mit einem Anstieg der durchschnittlichen weltweiten verkauften Batteriekapazität sowie der weit verbreiteten Verwendung von Kathoden mit mittlerem und hohem Nickelgehalt infolge der Bestrebungen, Kobalt als Inhaltsstoff von Kathodenmaterialien zu substituieren. Dennoch machte der Einsatz von Nickel in Batteriematerialien 2021 laut Nickel Institute nur etwas mehr als 11 % aus.²⁹ Mehr als zwei Drittel der jährlichen Weltnickelproduktion werden für die Produktion von Edelstahl verwendet.

In einer 75 kWh Batterie mit NMC622-Zellen befinden sich rund 40 kg Nickel. Für die Produktion einer GWh dieses Zelltyps werden etwa 532 t Nickel benötigt. Laut Adamas Intelligence wurden im ersten Halbjahr 2022 weltweit ca. 88 kt Nickel in den Batterien aller neu verkaufter Elektroautos für den Personenverkehr verbaut, was einem Anstieg von 50 % gegenüber dem Vorjahreszeitraum entspricht.³⁰

Marktentwicklung. Bis zum Ende des Jahrzehnts wird der Nickelbedarf der Batteriezellfertigung das bis zu 17-fache des Bedarfs im Jahr 2021 betragen. In dem Fall würde nur der Bedarf der Zellfertigung etwa 80 % des gesamten globalen Nickelangebots aus dem Jahr 2020 ausmachen. Der steigenden Nachfrage entsprechend ist der Preis für Nickel nach zwei konstanten Jahren 2021 deutlich und Anfang 2022 sprunghaft angestiegen. Nachdem der Nickelpreis im März dieses Jahres einen Höchststand erreichte, fiel der Preis wieder und liegt derzeit etwa auf dem Niveau von Ende 2021.

27 <https://nickelinstitute.org/en/about-nickel-and-its-applications/> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

28 <https://www.statista.com/statistics/273634/nickel-reserves-worldwide-by-country/> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

29 <https://nickelinstitute.org/en/about-nickel-and-its-applications/#04-first-use-nickel> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

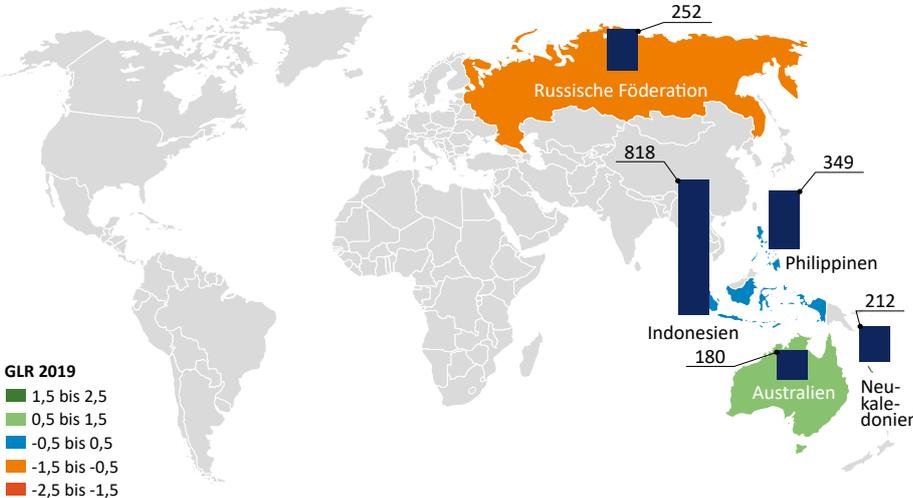
30 Adamas Intelligence: State of Charge: EVs, Batteries and Battery Materials, 2022 (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

Ni

Rohstoffsteckbrief Nickel

Globale Förderung

(Nickelgehalt in kt)



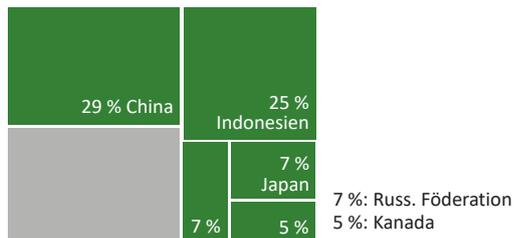
GLR 2019
 ■ 1,5 bis 2,5
 ■ 0,5 bis 1,5
 ■ -0,5 bis 0,5
 ■ -1,5 bis -0,5
 ■ -2,5 bis -1,5

Einschätzung

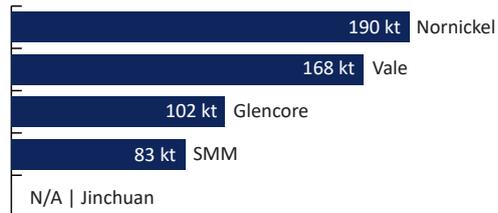
Bei Nickel ist bis 2030 nur ein geringeres Defizit zu erwarten. Neue Förderprojekte sowie der zunehmende Einsatz von LFP könnten dazu führen, dass sich Angebot und Nachfrage bis 2030 die Waage halten.^{II}

Raffination

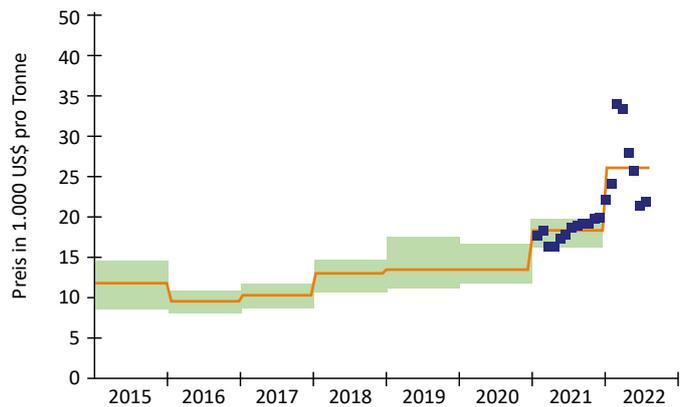
Länder mit größten Marktanteilen



Relevante Nickelproduzenten (Produktion 2021)



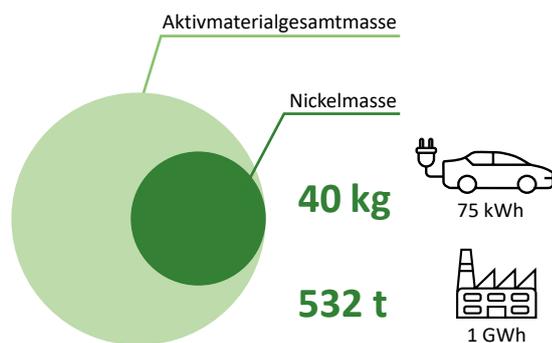
Preismonitor



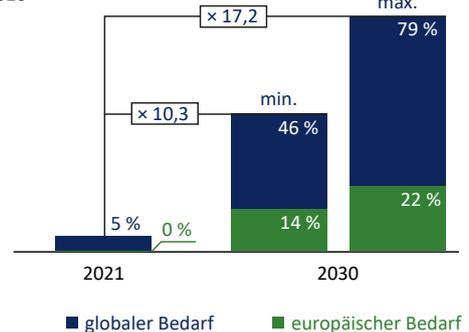
Ø Sep 2021–Aug 2022: 24.121
 Ø 2015–2021: 13.014 (📈 85,4 %)

— Jahresmittel
 ■ Min/Max-Bereich
 ■ Monatsmittel

Bedarf für Batteriezellen



Gesamte globale Nickelproduktion 2020



II McKinsey (2023); Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular; <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-2030-resilient-sustainable-and-circular#/>

2.1.3 Mangan

Rohstoffeigenschaften und Vorkommen. Typische Erscheinungsformen natürlichen Mangans sind Pyrolusit (Mangandioxid), Braunit (Mangansilikat) und Psilomelan (Mischung verschiedener Manganoxide). Die weltweite Manganreserve beläuft sich auf ca. 1,5 Mrd. t, wobei sich die größten Reserven in Südafrika (43 %), Australien (18 %) und Brasilien (18 %) befinden.

Förderung und Raffination. Die aktuell größten Förderländer sind Südafrika (36 %), Gabun (18 %) und Australien (17 %). China ist mit über 70 % aktuell größter Importeur von Manganerz weltweit und Hauptproduzent von Zwischenprodukten für die Batterieherstellung.³¹ Ein Unternehmen sticht mit sehr hoher Produktionskapazität hervor, weshalb eine erhöhte Marktkonzentration vorliegt.

Hauptanwendung und Bedarf für Batterien. Gegenwärtig nur etwa 0,2 % des weltweit geförderten Mangans für Lithiumionenbatterien verwendet. Die Nachfrage nach Mangan wird stark durch die Stahlindustrie dominiert, auf die rund 90 % der weltweiten Manganproduktion entfallen.³² Allerdings gewinnt die Batterieindustrie als Anwendungsgebiet für Mangan zunehmend an Bedeutung, begründet durch den vermehrten Einsatz an NMC-Batterien.

In einer 75 kWh Batterie mit NMC622-Zellen befinden sich rund 12 kg Mangan. Für die Produktion einer GWh dieses Zelltyps werden etwa 165 t Mangan benötigt. Im ersten Halbjahr 2022 wurden laut Adamas Intelligence weltweit ca. 24 kt Mangan in den Batterien aller neu verkauften Elektroautos für den Personenverkehr verbaut, ein Anstieg um 44 % gegenüber dem Vorjahreszeitraum.³³ Der erhöhte Bedarf an Mangan ist vor allem auf den Anstieg der weltweiten EV-Verkäufe sowie höhere durchschnittliche Batteriekapazitäten zurückzuführen. Darüber hinaus besteht eine erhöhte Nachfrage nach Batteriezellen mit niedrigem Kobaltanteil, der bei NMC-Kathoden durch höhere Anteile von Nickel und Mangan erreicht werden kann.

Marktentwicklung. Bis zum Ende des Jahrzehnts wird der Manganbedarf der Batteriezellfertigung das bis zu 11-fache des Bedarfs im Jahr 2021 betragen. In dem Fall würde nur der Bedarf der Zellfertigung etwa das 1,3-fache des gesamten globalen Manganangebots aus dem Jahr 2020 ausmachen.

Der steigenden Nachfrage entsprechend ist der Preis für Mangan nach zwei rückläufigen Jahren 2020 leicht und 2021 sprunghaft angestiegen. Nachdem der Manganpreis Ende 2021 einen Höchststand erreichte, fiel der Preis dieses Jahr wieder und liegt derzeit etwa auf dem Niveau von Anfang 2021 und dem Mittelwert des Jahres 2020.

31 https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohstoffsteckbrief_mn.pdf?__blob=publicationFile&v=3/ (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

32 https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Aktuelles/rohstoff_mangan.html?nn=5091226 (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

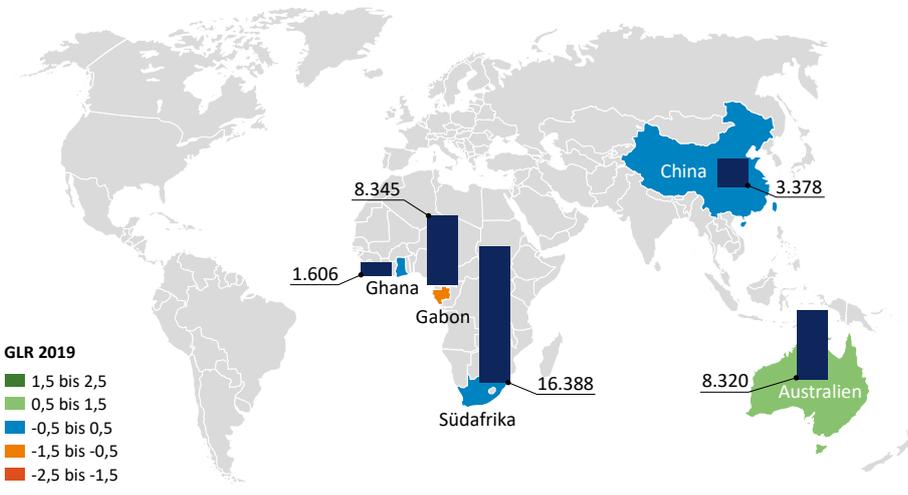
33 Adamas Intelligence: State of Charge: EVs, Batteries and Battery Materials, 2022

Mn

Rohstoffsteckbrief Mangan

Globale Förderung

(Manganerz in kt)

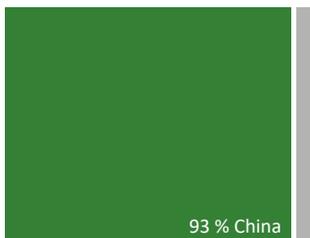


Einschätzung

Die Versorgungslage mit Mangan könnte bis 2030 stabil bleiben. Unter der Annahme, dass NMC mit hohem Nickelgehalt sowie LFP dominieren, sollte die Mangannachfrage vergleichsweise wenig ansteigen. Die Nachfrage nach Mangan könnte deutlich steigen, wenn LMFP oder manganreiches NMC verstärkt eingesetzt werden.^{III}

Raffination

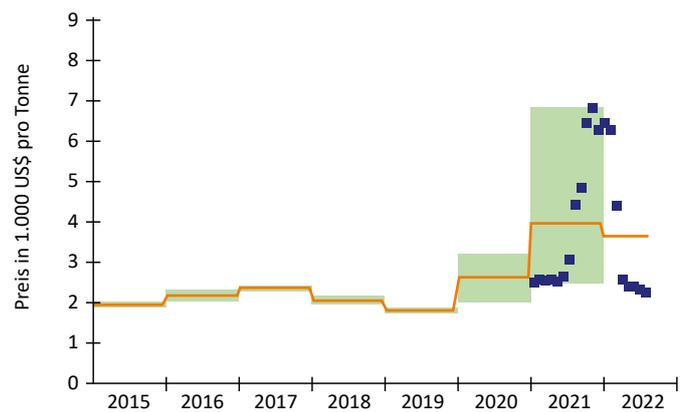
Länder mit größten Marktanteilen



Relevante Manganproduzenten (Kapazität, 2021)



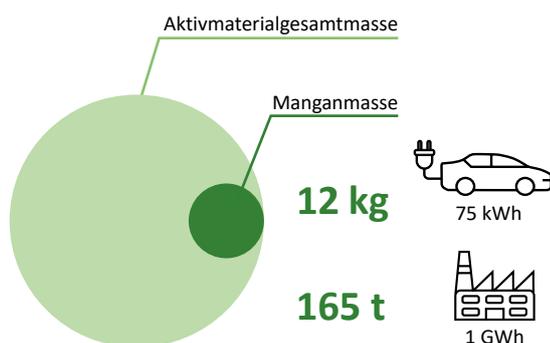
Preismonitor



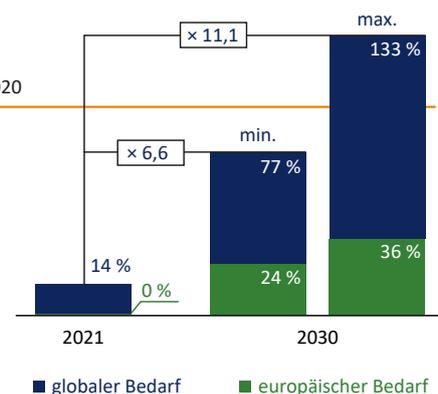
Ø Sep 2021–Aug 2022: 4.453
 Ø 2015–2021: 2.403 (📈 85,3 %)

— Jahresmittel
 ■ Min/Max-Bereich
 ■ Monatsmittel

Bedarf für Batteriezellen



Gesamte globale Manganproduktion 2020



III McKinsey (2023); Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular; <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-2030-resilient-sustainable-and-circular#/>

2.1.4 Kobalt

Rohstoffeigenschaften und Vorkommen. Kobalt kommt in der Natur nicht gediegen, sondern nur in Form von kobalthaltigen Mineralien vor. In der Regel wird es nicht direkt geschürft, sondern fällt größtenteils als Nebenprodukt bei der Produktion von Kupfer und Nickel an. An Land belaufen sich die globalen Ressourcen von Kobalt auf geschätzte 25 Mio. t, allerdings werden darüber hinaus 120 Mio. t auf den Böden der Weltmeere vermutet. Die größten Reserven befinden sich in der Demokratischen Republik Kongo (3,5 Mio. t) und in Australien (1,4 Mio. t).

Förderung und Raffination. Die Demokratische Republik Kongo verfügt nicht nur über die Hauptlagerstätten von Kobalterzen, sondern ist auch das Hauptförderland. Im Jahr 2020 stammten ca. 69 % des weltweit in Form von Erz (142 kt) geförderten Kobalts aus dem Kongo (98 kt). Deutlich geringe Mengen wurden in Russland (9 kt) und Australien (5,6 kt) produziert.³⁴ Der größte Produzent von raffiniertem Kobalt ist China, dessen Marktanteil im Jahr 2021 etwa 72 % betrug.³⁵ Über 80 % der chinesischen Kobaltproduktion wird in der landeseigenen Herstellung von Lithiumionenbatterien verwendet.¹³ Drei Unternehmen weisen hohe Produktionskapazitäten auf, weshalb eine erhöhte Marktkonzentration vorliegt.

Hauptanwendung und Bedarf für Batterien. Bis vor wenigen Jahren war die Metallindustrie das Hauptanwendungsgebiet von Kobalt. Größter Wachstumstreiber der Nachfrage sind vor allem wiederaufladbare Batterien, in denen Kobalt als Komponente des Kathodenmaterials eingesetzt wird. In einer 75 kWh Batterie mit NMC622-Zellen befinden sich rund 13 kg Kobalt. Für die Produktion einer GWh dieses Zelltyps werden etwa 177 t Kobalt benötigt. Im ersten Halbjahr 2022 wurden laut Adamas Intelligence weltweit ca. 19 kt Kobalt in den Batterien aller neu verkauften Elektroautos für den Personenverkehr verbaut, was einem deutlichen Anstieg um 44 % gegenüber dem Vorjahreszeitraum entspricht.³⁶

Marktentwicklung. Bis zum Ende des Jahrzehnts wird der Kobaltbedarf der Batteriezellfertigung das bis zu 15-fache des Bedarfs im Jahr 2021 betragen. In dem Fall würde nur der Bedarf der Zellfertigung etwa das 3,6-fache des gesamten globalen Kobaltangebots aus dem Jahr 2020 ausmachen.

Nachdem der Kobaltpreis 2017 und 2018 deutlich angestiegen ist, fiel er zunächst auf etwa das Niveau der Vorjahre, bevor er 2021 wieder anstieg. Der steigenden Nachfrage entsprechend ist der Preis für Kobalt Anfang 2022 weiter angestiegen. Nachdem er im April 2022 einen Höchststand erreichte, fiel der Kobaltpreis zuletzt wieder deutlich und liegt derzeit unter dem Mittelwert von 2021.

34 <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-cobalt.pdf> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

35 Cobalt Institute (2022): Cobalt Market Report 2021. Online: (Letzter Zugriff: 14.12.2022)

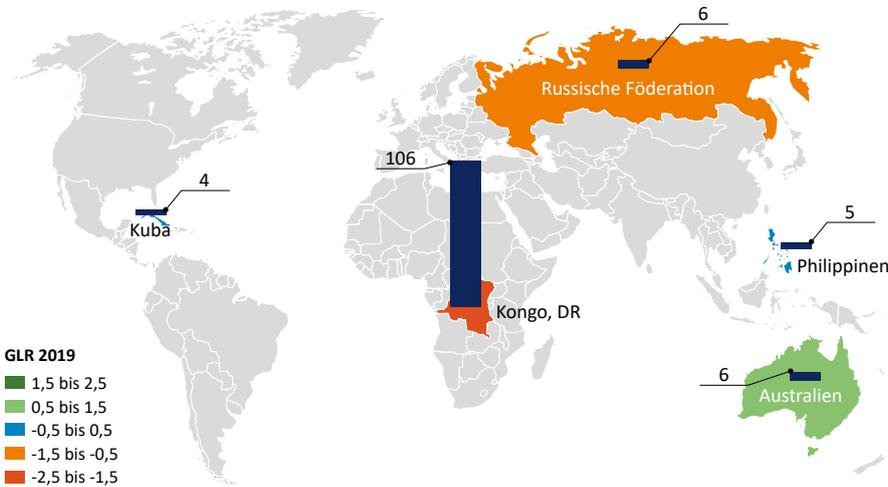
36 Adamas Intelligence: State of Charge: EVs, Batteries and Battery Materials, 2022

Co

Rohstoffsteckbrief Kobalt

Globale Förderung

(Kobaltgehalt in kt)

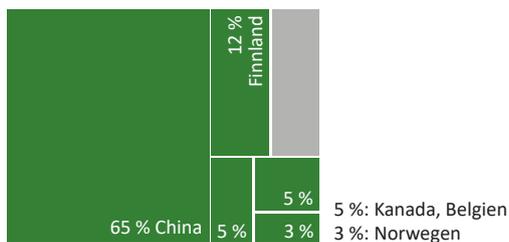


Einschätzung

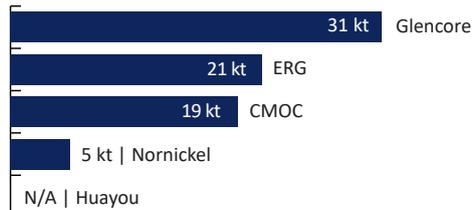
Der relative Anteil an Kobalt in LIB wird bis 2030 abnehmen. Zusätzlich wird die Rohstoffverfügbarkeit ansteigen, da bis 2030 neue Kupfer- und Nickelprojekte ihren Betrieb aufnehmen, bei denen Kobalt als Nebenprodukt abfällt. Kobalt sollte daher 2030 ausreichend verfügbar sein.^{IV}

Raffination

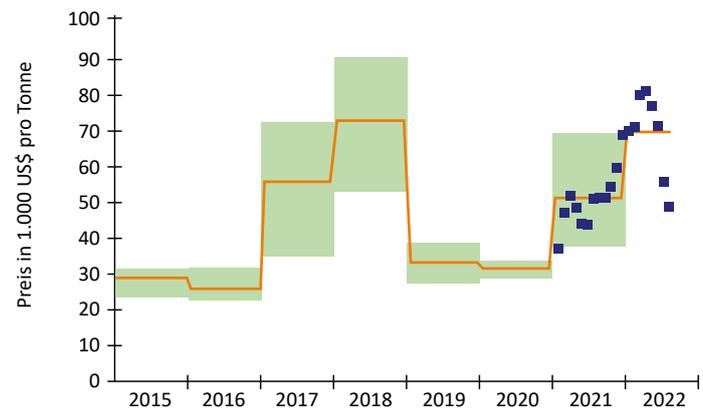
Länder mit größten Marktanteilen



Relevante Kobaltproduzenten (Produktion, 2021)

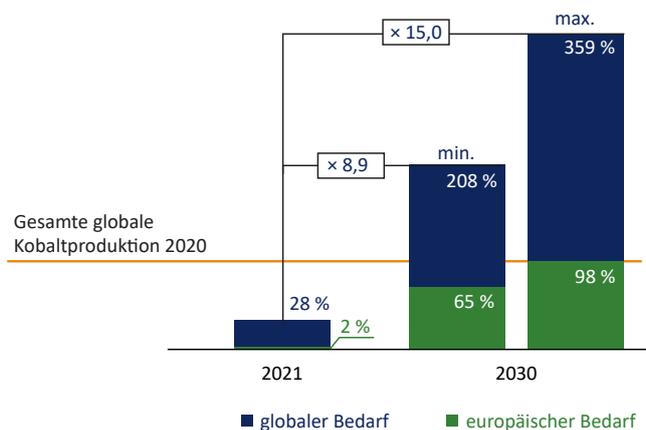
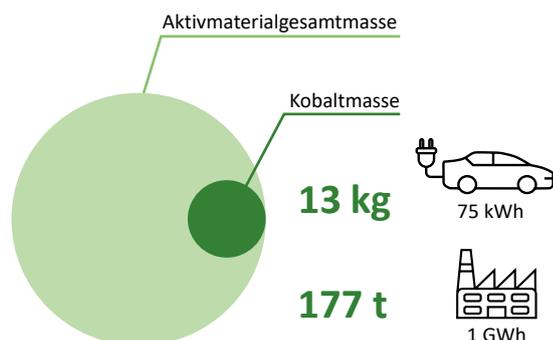


Preismonitor



Ø Sep 2021–Aug 2022: 66.115
 Ø 2015–2021: 42.507 (📈 55,5 %)

Bedarf für Batteriezellen



IV McKinsey (2023); Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular; <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-2030-resilient-sustainable-and-circular#/>

2.1.5 Graphit

Rohstoffeigenschaften und Vorkommen. Graphit kommt in der Natur in Form von Flocken, metamorphem Gestein und als Adern in Pegmatit vor, kann aber auch industriell als sogenannter synthetischer Graphit hergestellt werden. Natürlicher Graphit wird durch Bergbau gewonnen, während synthetischer Graphit durch Verkokung kohlenstoffhaltiger Ausgangsstoffe wie Kohle und Erdöl entsteht. Sowohl natürlicher als auch synthetischer Graphit werden in der Batterie-zellfertigung eingesetzt.

Förderung und Raffination. Im Jahr 2019 wurden weltweit ca. 1,7 Mio. t natürlichen Graphits gefördert. Das Produktionsvolumen von synthetischem Graphit betrug im Jahr 2018 rund 1,6 Mio. t.³⁷ Mit einem Anteil von knapp 74 % an der Produktion von natürlichem Graphit sowie etwa der Hälfte an synthetischem Graphit ist China der weltweit wichtigste Produzent.³⁸ Weitere wichtige Förderländer von natürlichem Graphit sind Madagaskar, Mosambik und Brasilien. Für die Produktion von synthetischem Graphit sind Japan, die USA, Indien und Europa von Bedeutung. Ein Unternehmen mit sehr hohen Produktionskapazitäten sticht heraus, sodass eine mittlere Marktkonzentration vorliegt.

Hauptanwendung und Bedarf für Batterien. Die Hauptanwendungsgebiete von Graphit waren 2018 Elektroden (750 kt) und Feuerfestprodukte (475 kt). Im ersten Halbjahr 2022 wurden laut Adamas Intelligence weltweit jedoch ca. 177 kt Graphit in den Batterien aller neu verkauften Elektroautos für den Personenverkehr verbaut, was einer Steigerung von 86 % gegenüber dem Vorjahreszeitraum entspricht.³⁹ In einer 75 kWh Batterie mit NMC622-Zellen befinden sich rund 66 kg Graphit. Für die Produktion einer GWh dieses Zelltyps werden etwa 884 t Graphit benötigt.

Marktentwicklung. Bis zum Ende des Jahrzehnts wird der Graphitbedarf der Batteriezellfertigung das bis zu 23-fache des Bedarfs im Jahr 2021 betragen. In dem Fall würde nur der Bedarf der Zellfertigung etwa das 1,6-fache des gesamten globalen Graphitangebots aus dem Jahr 2020 ausmachen.

Der steigenden Nachfrage entsprechend steigt der Preis für Graphit seit 2019 an, wobei der Anstieg 2021 deutlich stärker ausfiel. Nachdem der Graphitpreis im April 2022 einen Höchststand erreicht hatte, fiel der Preis zuletzt leicht.

37 Damm, S. (2021): Rohstoffrisikobewertung – Graphit. DERA Rohstoffinformationen, 51: 116 S.; Berlin.

38 DERA (2021): Batterierohstoffe für die Elektromobilität. – DERA Themenheft: 26 S.; Berlin.

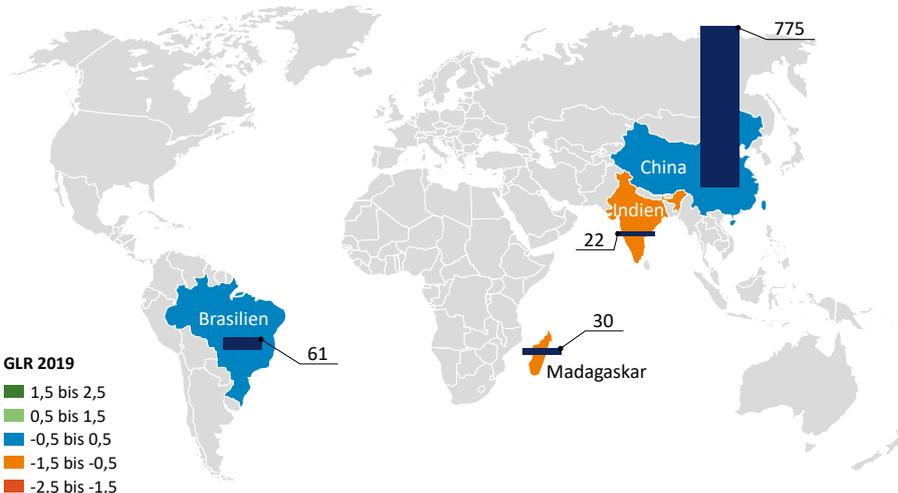
39 Adamas Intelligence: State of Charge: EVs, Batteries and Battery Materials, 2022

C

Rohstoffsteckbrief Graphit

Globale Förderung

(Graphitgehalt in kt)



Einschätzung

Angebot und Nachfrage könnten sich bis 2030 die Waage halten, insbesondere weil natürlicher Graphit durch synthetischer Graphit substituiert werden kann. Synthetischer Graphit bietet den Vorteil, dass es nachfrageorientiert produziert werden kann.^v

Raffination

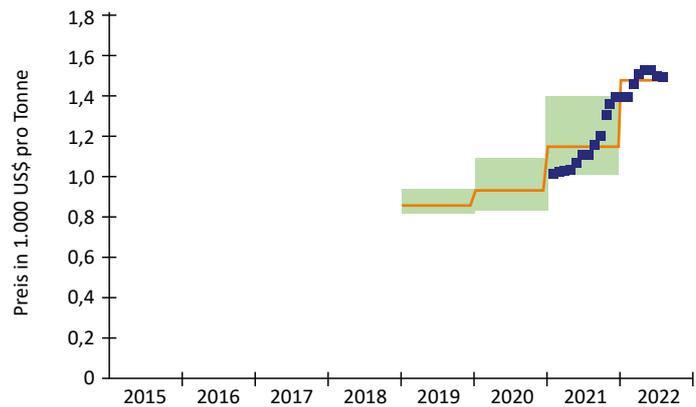
Länder mit größten Marktanteilen



Relevante Anodenhersteller (Kapazität, 2020)



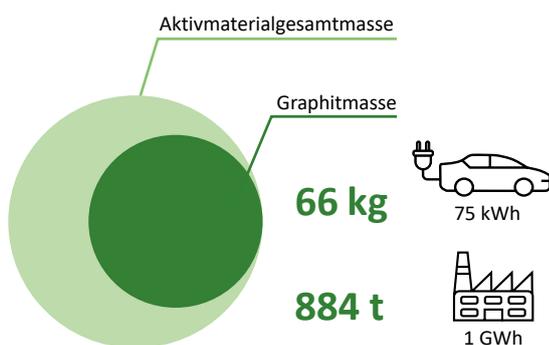
Preismonitor



Ø Sep 2021–Aug 2022: 1.426
 Ø 2015–2021: n/a

— Jahresmittel
 ■ Min/Max-Bereich
 ■ Monatsmittel

Bedarf für Batteriezellen



Gesamte globale Graphitproduktion 2020



^v Damm, S. (2021); Rohstoffrisikobewertung – Graphit. – DERA Rohstoffinformationen, 51: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-51.pdf?__blob=publicationFile&v=4

3 LÄNDER- UND MARKTKONZENTRATION BEI ABBAU UND RAFFINATION

Der Abbau und die Aufbereitung bzw. Raffination erfolgt bei manchen Rohstoffen, wie zum Beispiel Nickel, in derart vielen Ländern, dass nur eine mäßige Länderkonzentration vorliegt. Im Gegensatz dazu ist der Abbau und die Raffination mancher Rohstoffe, wie zum Beispiel Kobalt, auf einige wenige Länder konzentriert, sodass eine hohe Länderkonzentration besteht. Darüber hinaus gibt es auch Rohstoffe (Mangan), die zwar in vielen Ländern abgebaut, aber nur in sehr wenigen aufbereitet werden. Dabei schränkt eine hohe Konzentration die Möglichkeiten zur Diversifikation auf der Nachfrageseite stark ein, zum Beispiel zur Steigerung der Lieferkettenresilienz oder dem Nachkommen regulatorischer Anforderungen (EU-Lieferkettengesetz).

In diesem Kapitel werden der **Grad der Länderkonzentration und das Länderrisiko** bezogen auf die Förder- und Raffinationsmengen der Elemente Lithium, Nickel, Kobalt, Mangan

und Graphit aus dem Jahr 2020 präsentiert.⁴⁰ Diese Kennwerte lassen sich mittels des Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) bzw. des gewichteten Länderrisikos (GLR)^{41,42} sowohl für den Abbau als auch die Raffination quantifizieren und bewerten (s. Infoboxen). Basierend auf diesen Kenngrößen erfolgt eine Risikobewertung in Form eines Risikoportfolios mit fünf Kategorien. Eine Erläuterung der Risikogruppen ist ebenfalls im Anhang zu finden.

Der Abbau bzw. die Raffination der betrachteten Rohstoffe erfolgt zum Großteil außerhalb des Betrachtungsraums (EU-Mitgliedstaaten, EFTA-Mitgliedstaaten und Großbritannien). Im internationalen Vergleich kleine Mengen der Rohstoffe werden mit Ausnahme von Mangan auch im Betrachtungsraum abgebaut und/oder raffiniert. Signifikante Raffinationskapazitäten sind im Betrachtungsraum nur für Kobalt zu finden. Zwar bestehen im Betrachtungsraum auch große Kapazitäten der Nickelraffination, jedoch sind diese im internationalen Vergleich klein.

Gewichtetes Länderrisiko (GLR):

Das Länderrisiko (engl. World Governance Indicators) besteht aus sechs Dimensionen, welche aus über 30 Einzelindikatoren zusammengesetzt sind. Diese zeigen die Wahrnehmung der Qualität von Regierungen an und basiert auf einer großen Zahl von Umfrageergebnissen. Die Daten werden seit 1996 erhoben und von der Weltbank zur Verfügung gestellt.

Das Länderrisiko eines einzelnen Landes ist der Mittelwert aus den sechs Dimensionen. Ein gewichtetes Länderrisiko (z. B. für eine Warengruppe) ergibt sich aus dem Mittelwert aus dem Produkt von Länderrisiko und Anteil des Landes am Handel. Ob gewichtet oder ungewichtet, Länderrisikowerte sind im Bereich von -2,5 bis +2,5 zu finden und werden in fünf Bewertungskategorien eingeteilt (-2,5 bis -1,5 sehr hoch, >-1,5 bis -0,5 hoch, >-0,5 bis +0,5 mäßig, > +0,5 bis +1,5 gering, > +1,5 bis +2,5 sehr gering).

Länderkonzentration bei der Raffination höher als bei der Rohstoffförderung

Aufgrund der für die Förderung notwendigen Rohstoffvorkommen ist der Rohstoffabbau auf Länder beschränkt, die über entsprechende Bodenschätze verfügen. Ob und in welchem Umfang im jeweiligen Land Rohstoffe abgebaut werden, hängt vorwiegend von ökonomischen Aspekten des Abbaus (Konzentration des Rohstoffs, Zugänglichkeit etc.) ab, die wiederum auf Basis von Angebot und Nachfrage bewertet werden. Im Gegensatz zum Rohstoffabbau ist die Raffination weitestgehend ortsunabhängig. Dennoch hängt der Ort der Raffination ebenso von ökonomischen Aspekten, aber auch von geopolitischen Entscheidungen ab.

Der Abbau von Nickel und Mangan erfolgt in zahlreichen Ländern, weshalb hier eine mäßige Länderkonzentration vorliegt. Eine hohe Länderkonzentration besteht bei der Förderung von Lithium, Kobalt und Graphit. Bei der Raffination liegt dahingegen nur bei Nickel keine hohe Länderkonzentration vor. Insbesondere bei Mangan und Graphit findet fast die gesamte bzw. die gesamte Raffination in einem Land

40 UK Critical Mineral Intelligence Centre, BRITISH GEOLOGICAL SURVEY CR/22/079: "Study on future UK demand and supply of lithium, nickel, cobalt, manganese and graphite for electric vehicle batteries"

41 The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues by Daniel Kaufmann, Aart Kraay, Massimo Mastruzzi: SSRN [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1682130] (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

42 <http://info.worldbank.org/governance/wgi/> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

Herfindahl-Hirschman-Index:

Dieser Indikator beschreibt die Marktkonzentration. Dazu wird die Quadratsumme aller beteiligten Anteile (in Prozent) gebildet. Der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) kann somit Werte von 0 bis 10.000 einnehmen. Zur Bewertung werden drei Kategorien gebildet: 0 bis < 1.500 gering, 1500 bis < 2.500 mäßig und ab 2.500 hoch.

Dieser Indikator zur Marktkonzentration geht auf Albert O. Hirschman (1945) und Orrin Herfindahl (1950) zurück.

statt. Infolgedessen fällt die Länderkonzentration bei der Raffination dieser Rohstoffe deutlich höher aus als beim Abbau.

Erhöhtes gewichtetes Länderrisiko bei allen Rohstoffen

Ein relativ geringes gewichtetes Länderrisiko liegt nur beim Lithiumabbau vor. Beim Abbau von Nickel, Mangan und Graphit besteht ein mäßiges gewichtetes Länderrisiko und beim Abbau von Kobalt ist das gewichtete Länderrisiko relativ hoch. Bei der Raffination liegt bei allen Rohstoffen ein mäßiges gewichtetes Länderrisiko vor. Entsprechend ist das gewichtete Länderrisiko bei der Raffination von Kobalt geringer als beim Abbau und beim Lithium ist das gewichtete Länderrisiko bei der Raffination höher als beim Abbau.

Asiatische Unternehmen dominieren die Rohstoffraffination

Bei allen betrachteten Rohstoffe gehören asiatische Unternehmen zu den größten Produzenten weltweit. Insbesondere bei der Herstellung von Anodenaktivmaterial und der Verarbeitung von Mangan zu elektrolytischem Manganmetall oder zu Mangansulfat zeigt sich eine starke Dominanz der asiatischen Hersteller.

3.1 Lithium

Der **Abbau von Lithium** findet mit rund 75 % der Gesamtfördermenge vorwiegend in Australien und Chile statt (s. Abbildung 2, links). Weitere bedeutsame Beiträge zur Gesamtfördermenge liefert zudem der Lithiumabbau in China und Argentinien. Auch im Betrachtungsraum wird Lithium abgebaut. Jedoch ist die Menge, die in Portugal abgebaut wird, im internationalen Vergleich so gering, dass sie in Abbildung 2 (links) unter „Sonstige“ subsummiert ist. Insgesamt liegt beim Lithiumabbau dementsprechend eine hohe Länderkonzentration (HHI: 3.338) und ein geringes gewichtetes Länderrisiko (GLR: 0,91) vor. Aus der Kombination der beiden Indikatoren ergibt sich eine geringe Risikogruppe 2/5.

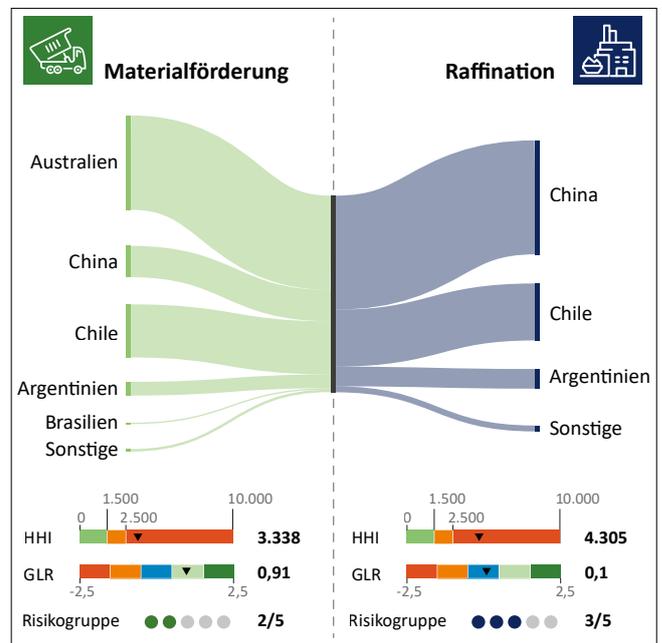


Abbildung 2: Sankey-Diagramm zum Rohstoff Lithium mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 85,8 kt-Inhalt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (Australien 41,2 kt-Inh., Chile 23,2 kt-Inh., China 13,7 kt-Inh., Argentinien 6 kt-Inh.) und (rechts) die Raffination (China 49,8 kt-Inh., Chile 24,9 kt-Inh., Argentinien 8,6 kt-Inh.) anteilig nach Ländern. Eigene Darstellung.

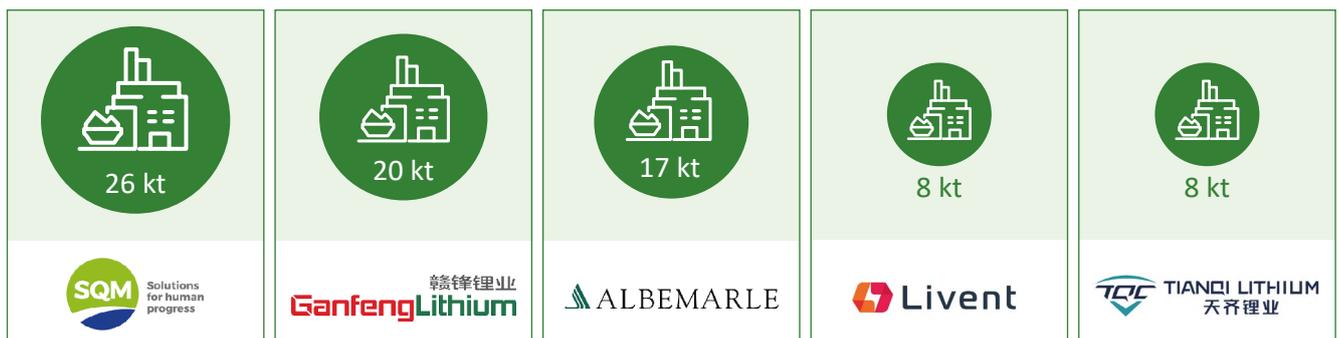


Abbildung 3: Auswahl relevanter Lithiumproduzenten und deren Produktionskapazität im Jahr 2020. Eigene Darstellung.

Die **Lithiumraffination** erfolgt mit ca. 58 % der Gesamtfördermenge zum Großteil in China (s. Abbildung 2, rechts). Mit etwa 30 % entfällt ein weiterer wesentlicher Anteil der globalen Raffination auf Chile. Deutlich weniger Lithium wird in Argentinien raffiniert. Aus diesem Grund fallen Länderkonzentration (HHI: 4.305) und gewichtetes Länderrisiko (GLR: 0,10) bei der Raffination noch etwas höher aus als beim Abbau, weshalb dieser Prozessschritt in Risikogruppe 3/5 eingestuft ist. Es lässt sich hier der Einfluss durch Raffinationsunternehmen, welche in China ansässig sind, erkennen. Eine Auswahl an relevanten Unternehmen und deren Lithiumproduktionskapazität ist in Abbildung 3 gezeigt. Neben den chinesischen Unternehmen raffinieren Albemarle und Livent Lithium in China.

3.2 Nickel

Der **Abbau von Nickelerzen** erfolgt mit etwa 60 % des Gesamtabbaus (2.580 kt-Inhalt) zum Großteil im West-Pazifischen Raum (Indonesien, Philippinen, Australien und Neukaledonien), wobei in Indonesien mit Abstand am meisten Nickel abgebaut wird. Viele weitere Abbauländer tragen zum globalen Gesamtabbau von Nickel bei (s. Abbildung 4, links). Auch in Finnland sowie in weiteren Ländern des Betrachtungsraums wird Nickel abgebaut. Jedoch sind die Mengen, die in Griechenland und Norwegen abgebaut werden, im internationalen Vergleich so gering, dass sie in Abbildung 4 (links) unter „Sonstige“ subsummiert sind. Aufgrund des Nickelabbaus in vielen Ländern liegt eine mäßige Länderkonzentration (HHI: 1.517) vor. Das gewichtete Länderrisiko fällt ebenfalls mäßig aus (GLR: 0,18). Aus der Kombination der beiden Indikatoren ergibt sich eine geringe Risikogruppe 2/5.

Die **Nickelraffination** erfolgt mit ca. 30 % der Gesamtfördermenge zumeist in China und mit etwa 25 % entfällt ein weiterer wesentlicher Anteil der globalen Raffination auf Indonesien (s. Abbildung 4, rechts). Deutlich weniger Nickel wird in Ländern wie beispielweise Russland, Australien, Kanada und Japan raffiniert. Auch im Betrachtungsraum wird

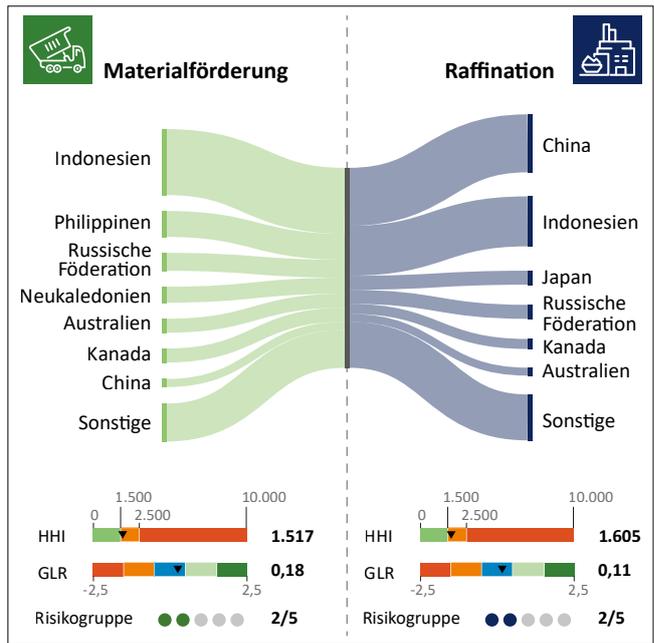


Abbildung 4: Sankey-Diagramm zum Rohstoff Nickel mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 2.580 kt-Inhalt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (Indonesien 851,4 kt-Inh., Philippinen 335,4 kt-Inh., Russische Föderation 232,2 kt-Inh., Neukaledonien 206,4 kt-Inh.) und (rechts) die Raffination (China 748,2 kt-Inh., Indonesien 654 kt-Inh., Russische Föderation 180,6 kt-Inh., Japan 180,6 kt-Inh.) anteilig nach Ländern. Eigene Darstellung.

Nickel raffiniert. Jedoch sind die Mengen, die zum Beispiel in Finnland, Großbritannien oder Griechenland raffiniert werden, im internationalen Vergleich so gering, dass sie in Abbildung 4 (rechts) unter „Sonstige“ subsummiert sind. Insgesamt resultiert daraus eine mäßige Länderkonzentration (HHI: 1.605), die nur geringfügig über dem Index für den Abbau liegt. Auch das gewichtete Länderrisiko ist als mäßig zu bewerten (GLR: 0,11) und ist ebenfalls nahezu deckungsgleich mit dem Wert für den Abbau. Demzufolge ergibt sich für die Nickelraffination auch die Risikogruppe 2/5. Eine Auswahl an relevanten Unternehmen und deren Nickelproduktion wird in Abbildung 5 gezeigt.



Abbildung 5 Auswahl relevanter Nickelproduzenten und deren Produktionsmengen im Jahr 2021. Eigene Darstellung.

3.3 Mangan

Der **Abbau von Mangan** findet mit rund 35 % der Gesamtfördermenge von 47.500 kt Manganerz (Taubgestein und Erz) vorwiegend in Südafrika statt (s. Abbildung 6, links). Mit jeweils fast 18 % der Gesamtfördermenge liefert zudem der Manganabbau in Australien und Gabun weitere bedeutsame Beiträge. Viele weitere Abbauländer tragen zum globalen Gesamtabbau von Mangan bei. Infolgedessen liegt beim Abbau eine mäßige Länderkonzentration vor (HHI: 1.624). Das gewichtete Länderrisiko ist ebenfalls mäßig (GLR: 0,05). Aus der Kombination der beiden Indikatoren ergibt sich eine geringe Risikogruppe 2/5.

Die **Manganraffination** erfolgt zu über 90 % in China (s. Abbildung 6, rechts). Dies resultiert in einer hohen Länderkonzentration (HHI: 8.649), die sehr viel höher ausfällt als beim Manganabbau. Infolge dessen ist die Raffination von Mangan in der zweithöchsten Risikogruppe (4/5) einzustufen, obwohl das gewichtete Länderrisiko wie beim Abbau im mäßigen Bereich liegt (GLR: -0,25).

Eine Auswahl an relevanten Unternehmen und deren Produktionskapazität zur Herstellung von elektrolytischem Manganmetall (electrolytic manganese metal, EMM) und Mangansulfat Monohydrat (manganese sulfate monohydrate, MSM) ist in Abbildung 7 gezeigt. Ein Unternehmen sticht durch sehr hohe Kapazitäten zur Aufbereitung von elektrolytischem Manganmetall deutlich heraus. Neben den dominierenden chinesischen Unternehmen sind auch zwei Unternehmen gelistet, die außerhalb Chinas EMM und/oder MSM produzieren und zu den wenigen Produzenten außerhalb Chinas gehören. Dementsprechend liegt hier eine hohe Marktkonzentration vor.

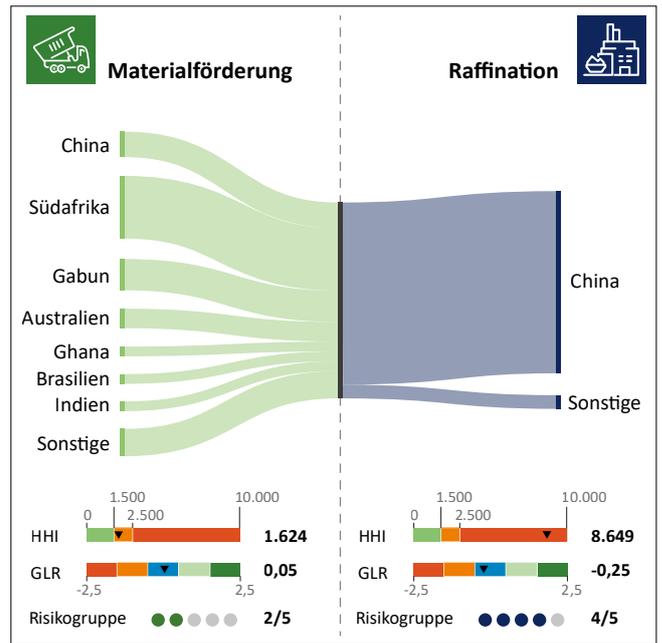


Abbildung 6: Sankey-Diagramm zum Rohstoff Mangan mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 47.500 kt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (Südafrika 15.200 kt, Gabun 7.600 kt, China 6.175 kt, Australien 4750 kt) und (rechts) die Raffination (China 44.175 kt) anteilig nach Ländern. Eigene Darstellung.

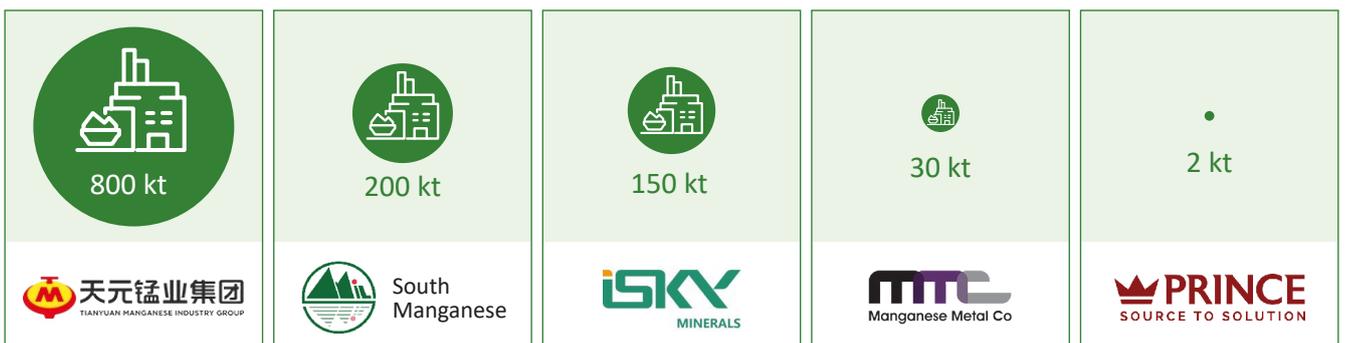


Abbildung 7 Auswahl relevanter Manganproduzenten und deren Produktionskapazitäten. Eigene Darstellung.

3.4 Kobalt

Der **Abbau von Kobalt** erfolgt mit rund 66 % (97,7 kt-Inhalt) der Gesamtfördermenge (148 kt-Inhalt) vorwiegend in der Demokratischen Republik Kongo (s. Abbildung 8, links). Weitere Förderung mit deutlich geringeren Volumina findet in mehreren Ländern statt. Auch im Betrachtungsraum wird Kobalt abgebaut. Jedoch ist die Menge, die in Finnland abgebaut wird, im internationalen Vergleich so gering, dass sie in Abbildung 8 (links) unter „Sonstige“ subsummiert ist. Infolgedessen liegt beim Kobaltabbau eine hohe Länderkonzentration (HHI: 4.422) und ein hohes gewichtetes Länderrisiko (GLR: -1,20) vor. Aus der Kombination der beiden Indikatoren ergibt sich eine hohe Risikogruppe 4/5.

Die **Kobaltraffination** erfolgt mit etwa 65 % der Gesamtfördermenge zum Großteil in China (s. Abbildung 8, rechts). Mit rund 20 % entfällt ein weiterer wesentlicher Anteil der globalen Raffination auf Finnland, Belgien und Norwegen und damit auf Länder des Betrachtungsraums. Aus diesem Grund liegt im Gegensatz zum Abbau bei der Raffination ein mäßiges gewichtetes Länderrisiko (GLR: 0,33) vor. Die Länderkonzentration ist genau wie bei dem Abbau als hoch zu bewerten (HHI: 4.441), weshalb dieser Prozessschritt in die mittlere Risikogruppe 3/5 fällt.

Eine Auswahl an relevanten Unternehmen und deren Produktionsvolumen bezüglich der Herstellung von Kobalt oder Kobaltoxid ist in Abbildung 9 gezeigt.

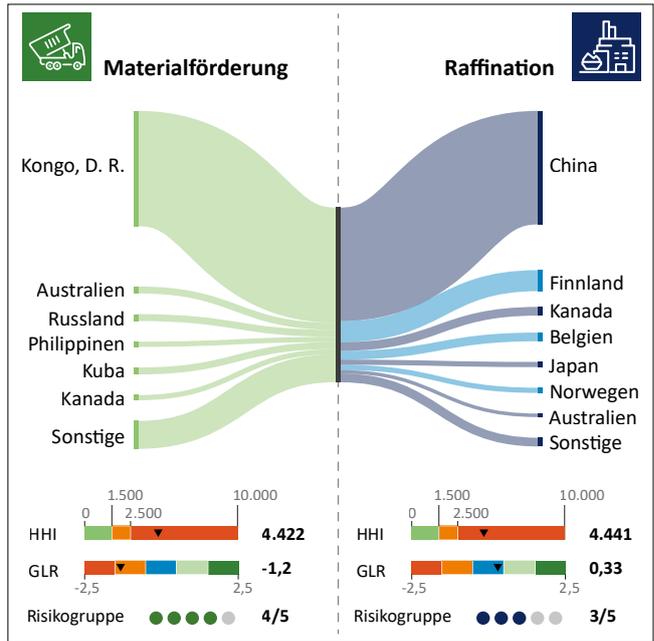


Abbildung 8: Sankey-Diagramm zum Rohstoff Kobalt mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 148 kt-Inhalt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (Demokratische Republik Kongo 97,7 kt-Inh., Russische Föderation, Australien und Kuba je 5,9 kt-Inh.) und (rechts) die Raffination (China 96,2 kt-Inh., Finnland 17,8 kt-Inh., Belgien und Kanada je 7,4 kt-Inh.) anteilig nach Ländern. Dunkel eingefärbte Bereiche zeigt Verarbeitung im Betrachtungsraum. Eigene Darstellung.



Abbildung 9 Auswahl relevanter Kobaltproduzenten und deren Produktionsvolumina im Jahr 2021. Eigene Darstellung.

3.5 Graphit

Der **Abbau von Graphit** erfolgt mit rund 68 % (652 kt) der Gesamtproduktion (959 kt) vorwiegend in China (s. Abbildung 10). Daneben gehören Brasilien, Madagaskar, Südkorea und Indien zu den Ländern, in denen natürlicher Graphit abgebaut wird. Mit einer summierten Fördermenge von ca. 200 kt wird in diesen Ländern jedoch weniger als ein Drittel der Abbaumenge Chinas gefördert. Infolgedessen liegt beim Graphitabbau eine hohe Länderkonzentration (HHI: 4.767) vor. Zwar wird auch im Betrachtungsraum Graphit abgebaut. Jedoch ist die Menge, die in Norwegen abgebaut wird, im internationalen Vergleich so gering, dass sie in Abbildung 10 unter „Sonstige“ subsumiert ist. Das gewichtete Länderrisiko ist mäßig (GLR: -0,23). Aus der Kombination der beiden Indikatoren ergibt sich für den Graphitabbau eine mittlere Risikogruppe 3/5.

Da die **Raffination** ebenfalls in China erfolgt, ist eine Differenzierung zwischen den Unternehmen, welche den Bergabbau sowie eine Aufarbeitung des Graphits realisieren, kaum möglich. Daher ist es wenig erstaunlich, dass das Länderrisiko für die Raffination mit einem Wert von -0,25 in der gleichen Größenordnung zu finden ist.

Die Produktion von synthetischem Graphit erfolgt zu über 50 % des weltweiten Produktionsvolumens ebenfalls in China. Weitere Produktionsländer sind Japan sowie die USA. Hieraus ergibt sich ein mäßiges gewichtetes Länderrisiko (GLR: 0,19) und eine hohe Länderkonzentration (HHI: 3.187). Daraus ergibt sich für die Produktion von synthetischem Graphit eine mittlere Risikogruppe 3/5.

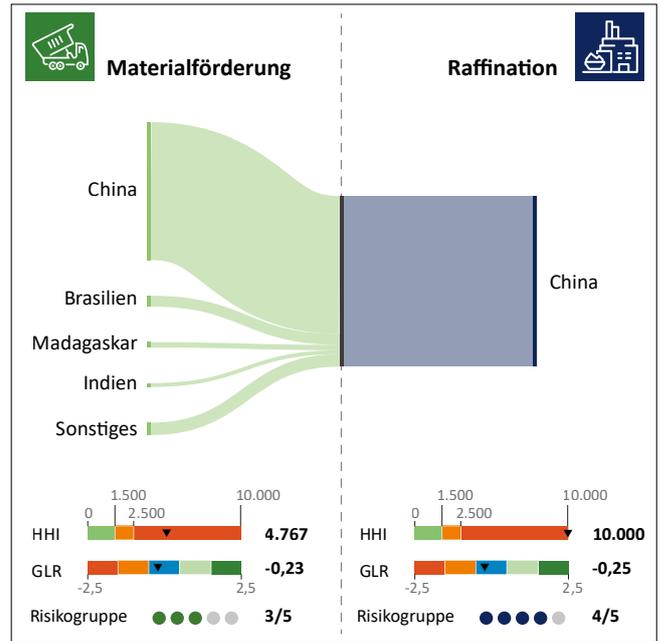


Abbildung 10 Sankey-Diagramm zum Rohstoff Graphit mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 959 kt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (China 652,1 kt, Brasilien 95,9 kt, Madagaskar 48 kt) und (rechts) die Raffination (China 959 kt) anteilig nach Ländern. Eigene Darstellung.

Eine Auswahl an relevanten Unternehmen und deren Produktionskapazität zur Herstellung von Anodenaktivmaterial (AAM) aus synthetischem und/oder natürlichem Graphit ist in Abbildung 12 dargestellt. Chinesische Hersteller dominieren die AAM-Produktion. Die Firmen POSCO (Südkorea) bzw. Mitsubishi (Japan)⁴³ beziehen ihren Bedarf an Naturgraphit aus China. Im Februar 2022 wurde vom US Department of Energy der Report „America’s Strategy to Secure the Supply Chain for a Robust Clean Energy Transition“ veröffentlicht⁴⁴. Dieser stellt fest: „China also controls 100 percent of the processing of natural graphite used for battery anodes.“

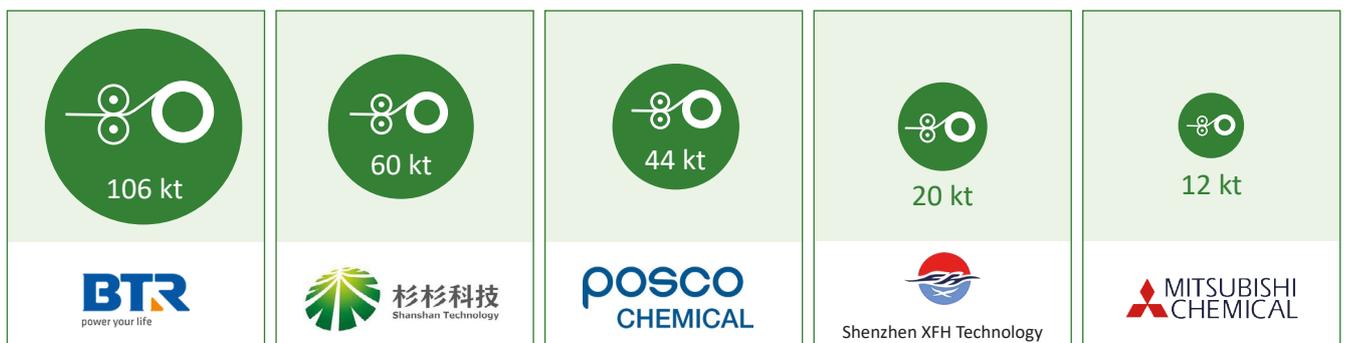


Abbildung 11 Auswahl relevanter AAM-Produzenten und deren Produktionskapazität im Jahr 2020. Eigene Darstellung.

43 https://www.mcgc.com/english/news_release/01281.html (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

44 America’s Strategy to Secure the Supply Chain for a Robust Clean Energy Transition FINAL.docx_0.pdf (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

4 EUROPÄISCHE WERTSCHÖPFUNG

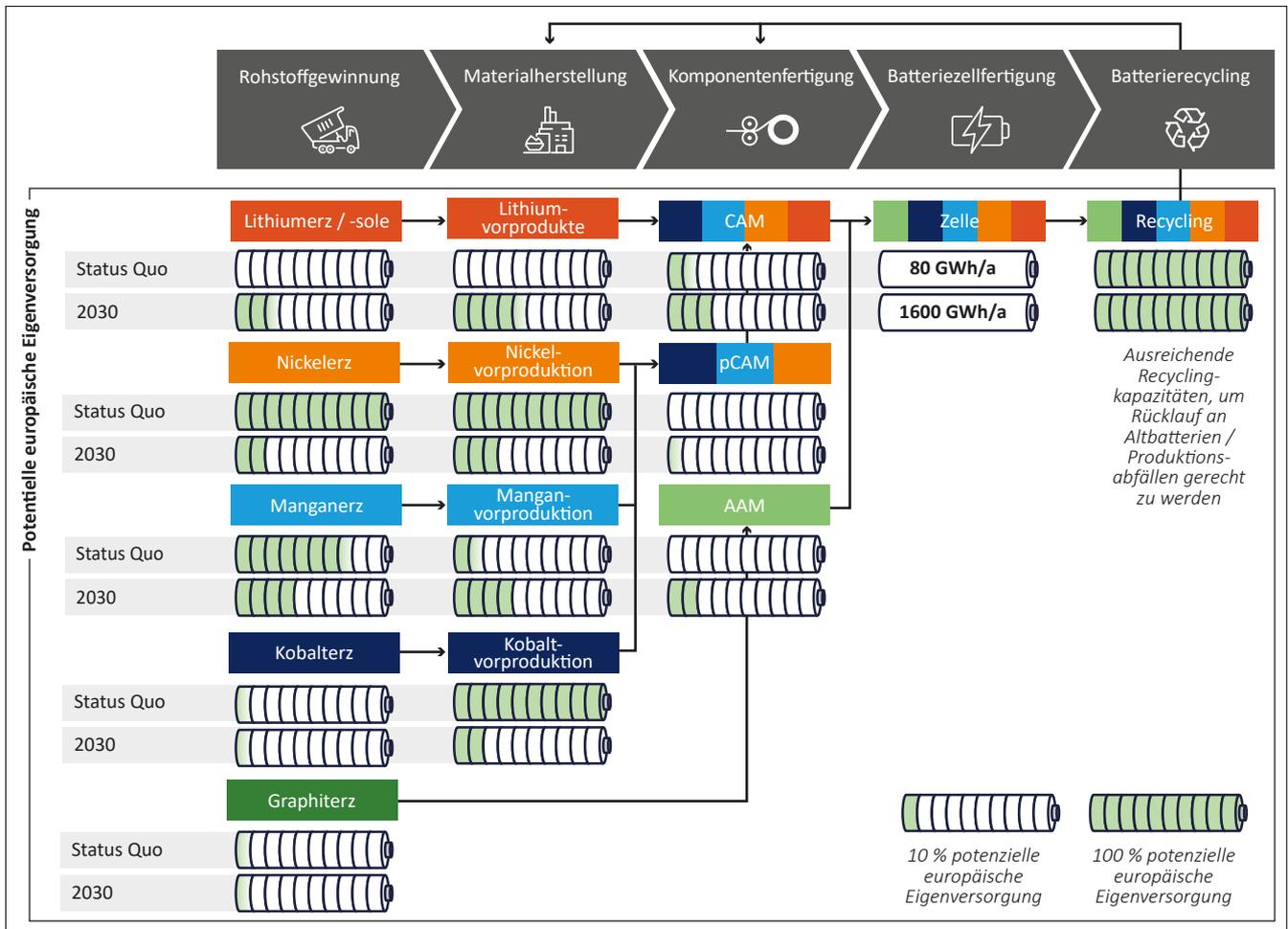


Abbildung 12: Betrachtete Wertschöpfungsstufen und Rohstoffströme sowie Darstellung der potenziellen europäischen Eigenversorgung. Eigene Darstellung.

In diesem Kapitel wird die europäische Batterie-Wertschöpfungskette hinsichtlich einer potenziellen Eigenversorgung analysiert. Betrachtet werden neben der Zellfertigung auch die der Zellfertigung vorangestellten Wertschöpfungsstufen

sowie das Recycling. Die Kernkenntnisse sind der Abbildung 12 sowie der zugehörigen Infobox zu entnehmen. Weitere Hintergrundinformationen sind in dem Kasten „Methodik und Hinweise“ zu finden.

Tabelle 1: Kernerkenntnisse. Eigene Darstellung.

WSK	Status Quo	2030
	Von den fünf betrachteten Rohstoffen werden in Europa insbesondere Nickel und Mangan in größeren Mengen abgebaut. Die europäische Nickelfördermenge würde theoretisch ausreichen, um den Bedarf der europäischen Zellfertigung zu decken. Allerdings fließt der Großteil der lokalen Nickelförderung in die Stahlindustrie und steht der Batterieindustrie nicht zur Verfügung.	Für Nickel und Kobalt ist die Erschließung neuer Lagerstätten bis 2030 in Europa nicht absehbar. Neue Standorte könnten für Lithium und Mangan erschlossen werden. Die Eigenversorgung mit Lithium könnte auf ca. 25 % ansteigen. Die potenzielle Eigenversorgung durch Mangan wird voraussichtlich auf ca. 45 % fallen. Die Eigenversorgung mit natürlichem Graphit könnte bei etwa 5 % stagnieren.
	Europa verfügt über Kapazitäten zur Aufbereitung von Nickel und Kobalt. Würden diese Kapazitäten vollständig in die Batteriezellfertigung fließen, so könnte die heimische Zellproduktion ausreichend versorgt werden. Die Aufbereitung von Mangan zu EMM oder MSM wird in kleinerem Maßstab umgesetzt. Die Erzeugung von Lithiumcarbonat oder Lithiumhydroxid in Batteriequalität findet nur in sehr kleinem Maßstab statt.	Die Eigenversorgung mit raffiniertem Lithium könnte auf knapp 45 % und mit raffiniertem Mangan auf knapp 40 % steigen. Der Ausbau der Weiterverarbeitungskapazität für Nickel und Kobalt wird nicht mit dem erwarteten Zuwachs an Zellproduktionskapazitäten schritthalten können, sodass die Eigenversorgung mit Nickel auf ca. 30 % und mit Kobalt auf ca. 20 % sinken könnte.
	Es gibt nur wenige Standorte in Europa, die pCAM, CAM oder AAM herstellen. Ein kürzlich eröffneter Standort in Polen befindet sich in der Hochlaufphase und plant in einer ersten Phase bis zu 20 GWh/a an CAM bereitzustellen. Die restlichen Standorte sind in erster Linie Pilotanlagen ohne konkrete Kapazitätsangabe.	Innerhalb der Komponentenfertigung sind Zuwächse für alle drei betrachteten Komponenten zu erwarten. Die Eigenversorgung durch CAM könnte auf etwa 30 % und durch AAM auf gut 20 % ansteigen. Im Bereich der pCAM-Fertigung könnten die Zuwächse deutlich geringer ausfallen und eine Eigenversorgung von unter 5 % vorliegen.
	Die aktuelle Zellfertigungskapazität beträgt ca. 80 GWh/a.	Die angekündigte Vorhaben könnte die Zellfertigungskapazität um den Faktor 20 auf bis zu 1600 GWh/a wachsen lassen.
	Die in Europa verfügbaren Anlagen könnten momentan etwa 12 GWh/a an Traktionsbatterien recyceln.	Die geplanten Recyclingkapazitäten sollten ausreichen, um die nicht mehr nutzbaren Traktionsbatterien und Produktionsabfälle wiederaufbereiten zu können. Da die Lebensdauer von LIB für Elektrofahrzeuge länger als zehn Jahre sein kann, ist mit einem signifikanten Rücklauf an ausgedienten Traktionsbatterien nicht vor 2030 zu rechnen.

Methodik & Hinweise

In diesem Kapitel wird die potenzielle europäische Eigenversorgung zur Deckung des Zellfertigungsbedarfs durch die fünf ausgewählten Rohstoffe betrachtet. Zur Bestimmung der potenziellen Eigenversorgung wurden für jede der fünf betrachteten Wertschöpfungsstufen relevante Standorte recherchiert, deren Produkte einen Beitrag zur Lithium-Ionen-Batteriezellfertigung liefern könnten. Neben der Betrachtung des Status Quo wird anhand von Standorterweiterungen sowie geplanten neuen Standorten ein Ausblick auf eine mögliche Entwicklung bis 2030 gegeben.

Alle identifizierten Produktionskapazitäten wurden in GWheq umgerechnet. Vereinfachend wurde angenommen, dass die Produktionskapazitäten des Status Quo zur Erzeugung von LIB mit NMC-622-Kathoden und die des Jahres 2030 zur Erzeugung von LIB mit NMC-811-Kathoden genutzt werden. Weitere Informationen zur Umrechnung sind im Anhang zu finden.

Zur Bestimmung der prozentualen Eigenversorgung wurden die ermittelten GWheq durch die ermittelte Zellfertigungskapazität geteilt. Für den Status Quo liegt die Zellfertigungskapazität bei 80 GWh und für 2030 bei 1600 GWh.

Die potenzielle Eigenversorgung ist ein theoretischer Wert, der auf der Annahme basiert, dass die betrachteten Produkte vollständig in die Batteriezellfertigung fließen. In den Wertschöpfungsstufen Rohstoffgewinnung und Materialherstellung werden die betrachteten Stoffe aber auch von anderen Industriezweigen nachgefragt, sodass sie in der Realität nicht ausschließlich für die Zellproduktion genutzt werden.

Generell ist zu beachten, dass es sich bei der potenziellen Eigenversorgung um eine Näherung handelt. Eine exakte Vorhersage ist nicht möglich, da beispielsweise nicht für alle recherchierten Standorte exakte Produktionskapazitäten bekannt sind. Ferner ist nicht gewährleistet, dass alle Erweiterungen und neue Standorte wie geplant umgesetzt werden können oder, dass trotz sorgfältiger Recherche, alle relevanten europäischen Standorte berücksichtigt sind.

Daher ist die potenzielle Eigenversorgung als Indikator zu sehen, in welchen Wertschöpfungsstufen und für welche Produkte in Europa bereits Produktionsanlagen und -wissen vorhanden sind und in welchen Wertschöpfungsstufen neue Anlagen und neues Wissen aufgebaut werden müssen. Zusätzlich können aus den Ergebnissen Trends abgeleitet werden, in welchen Wertschöpfungsstufen ein deutlicher Zuwachs bis 2030 zu erwarten ist und in welchen Wertschöpfungsstufen Nachholbedarf besteht.

4.1 Rohstoffgewinnung

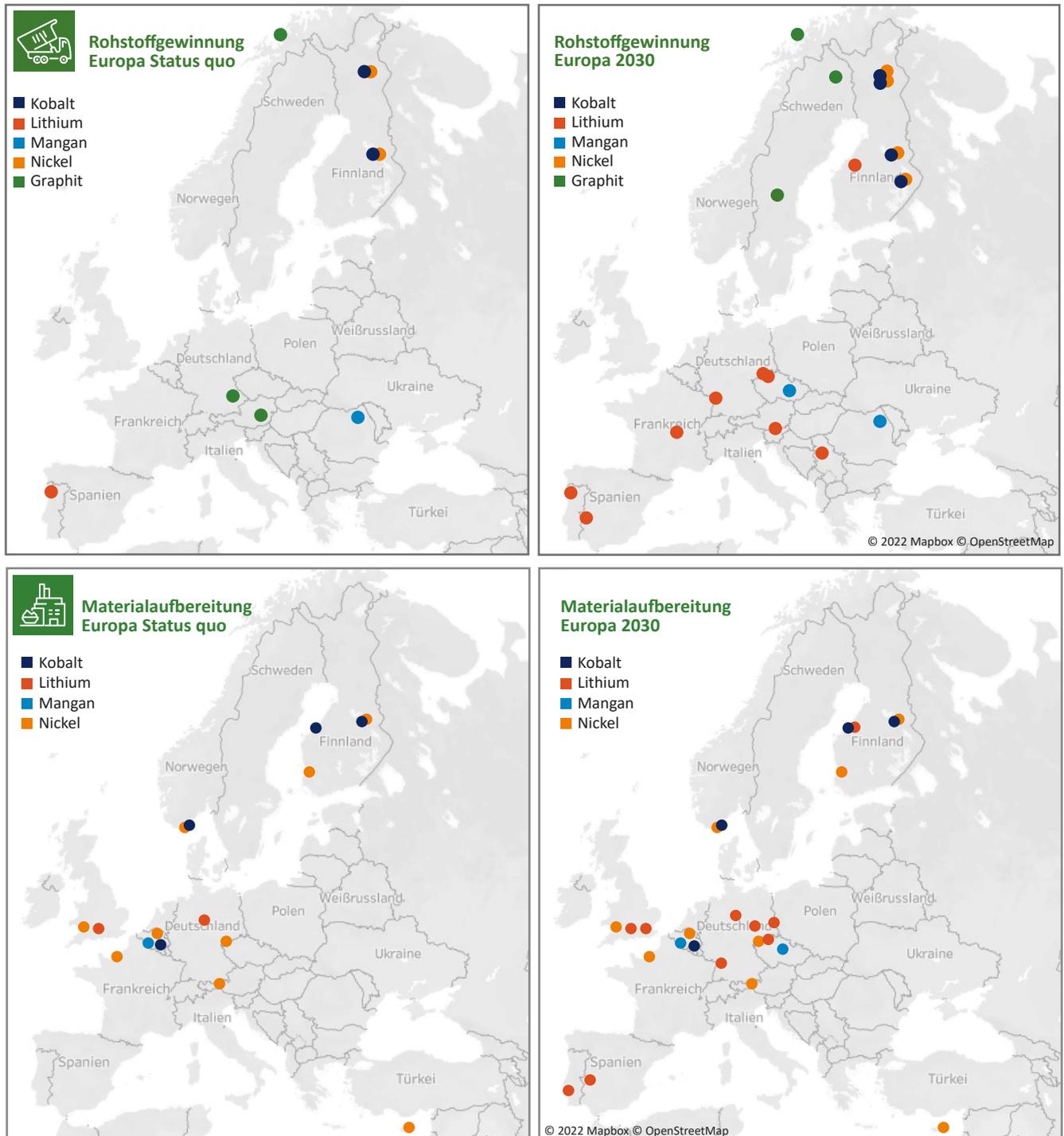


Abbildung 13: Kartendarstellung aller recherchierter Rohstoff und Material Projekte in Europa für diese Studie (Stand: Dezember 2022)

Alle fünf betrachteten Rohstoffe werden in Europa gefördert. Insbesondere für Lithium, aber auch für Mangan und natürliches Graphit wird bis 2030 ein deutliches Wachstum hinsichtlich der Abbaukapazitäten erwartet. Für Nickel und Kobalt ist die Erschließung neuer Lagerstätten aktuell nicht absehbar.

Der Bedarf der europäischen Zellproduktion wird 2030 nicht aus lokalen Rohstoffvorkommen gedeckt werden können. Ein Import von Rohstoffen und/oder aufbereitetem Vormaterial wird trotz neuer Förderstätten notwendig sein. Für eine sichere Versorgung müssen verlässliche Handelspartner gefunden werden.

4.1.1 Lithiumerz / -sole

Lithiumgewinnung für Batterieanwendungen findet in Europa 2022 nicht statt. Lediglich in Portugal wird Lithium abgebaut, das in erster Linie für Anwendungen außerhalb der Batterieindustrie (z. B. Keramik) genutzt wird.⁴⁵ Zu den Produktionskapazitäten liegen keine Angaben vor.

Die Kartendarstellung zeigt, dass sich dieses Bild bis 2030 ändern wird. In Europa befinden sich zahlreiche Projekte zur Förderung von Lithium in der Planung. U. a. in Finnland, Deutschland, Tschechien, Österreich, Serbien, Portugal und Spanien sind Vorkommen entdeckt worden, die die europäische Batteriewertschöpfungskette mit Lithium versorgen könnten. Entsprechend veröffentlichter Informationen zu Produktionskapazitäten könnten bis 2030 etwa 425 GWh_{eq}/a durch die geplanten Fördermengen realisiert werden. Der Grad der Eigenversorgung könnte durch die identifizierten Vorkommen auf etwa 25 % steigen.

Jedoch bleibt abzuwarten, welche Projekte und wann diese Projekte letztendlich mit der Förderung beginnen können. In Serbien gab es erhebliche Proteste gegen die Umsetzung eines Lithiumstandortes, der mit einer Jahreskapazität von etwa 100 GWh_{eq} einen maßgeblichen Beitrag zur europäischen Versorgung liefern könnte. Diese Proteste führten dazu, dass die Entwicklung des Projektes durch die Politik ausgesetzt und Minenlizenzen zurückgezogen wurden.⁴⁶ Auch in anderen europäischen Ländern, wie z. B. Portugal, gibt es Proteste gegen die Ansiedlung von Projekten zur Rohstoffgewinnung⁴⁷, die zu Verzögerungen bei der Umsetzung führen können. Generell ist die Umsetzung von Rohstoffprojekten durch aufwendige Explorationsphasen, Machbarkeitsstudien und Genehmigungsverfahren ein zeitintensiver Prozess, der zehn Jahre und länger dauern kann. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren ist die Prognose für den Start von Rohstoffprojekten immer mit Unsicherheiten unterlegt.

4.1.2 Nickelerz

Nickel wird insbesondere in Finnland gewonnen. Würde die identifizierte finnische Nickelproduktion in die Fertigung von Batterien mit NMC-622-Kathoden fließen, so könnten aktuell über 375 GWh_{eq}/a erzeugt werden. Theoretisch könnte damit der gesamte europäische Eigenbedarf gedeckt werden.

Die Erschließung neuer Nickelförderstätten in Europa bis 2030 ist aktuell nicht absehbar. Es gibt zwar potenzielle Standorte, an denen Nickelvorkommen entdeckt wurden, die Erkundungen dieser Standorte sind aber noch in einem

frühen Stadium. Beispielsweise könnte ein neuer Standort in Finnland Erze fördern, die neben Kupfer auch einen Beitrag zur Nickelversorgung liefern könnten. Unter der Prämisse, dass bis 2030 die Nickelproduktion auf einem vergleichbaren Niveau gehalten werden kann, aber NMC-811-Kathoden mit höherem Nickelgehalt verwendet werden, würden noch über 300 GWh_{eq}/a erzeugt werden können. Die potenzielle Eigenversorgung würde hierdurch auf ca. 20 % absinken.

4.1.3 Manganerz

In der Karte zum Status Quo ist ein Förderstandort von Mangan in Rumänien verzeichnet. Neben Rumänien wird Manganerz in Kontinentaleuropa u. a. in der Ukraine abgebaut. Die Ukraine verarbeitet das Mangan in erster Linie zu Ferromangan oder Siliziummangan. Nur ein kleiner Teil wird in metallisches Mangan von geringerer Reinheit umgewandelt. Das in Rumänien gewonnene Mangan wird ebenfalls in erster Linie zu Ferromangan oder Siliziummangan weiterverarbeitet. Die Manganfördermenge in Rumänien würde für knapp 60 GWh_{eq}/a basierend auf NMC-622-Kathodenmaterial reichen. Diese Fördermenge könnte den Eigenbedarf theoretisch zu 75 % decken.

Bis 2030 soll in Tschechien ein Manganvorkommen erschlossen werden, das explizit zur Fertigung von Batteriematerialien genutzt werden soll. Das Mangan soll dort nicht nur gefördert, sondern direkt in hochreines EMM bzw. in hochreines MSM umgewandelt werden. Mit dem in Rumänien vorhandenen Vorkommen und den dort geplanten Kapazitäten könnten 2030 gut 750 GWh_{eq}/a an NMC-811-Kathodenmaterial erzeugt werden. Die theoretische Eigenversorgung könnte dadurch bei etwa 45 % liegen.

4.1.4 Kobalterz

Kobalt wird nur in geringen Mengen in Europa gefördert. In Finnland wird es als Nebenprodukt bei einigen Operationen gewonnen. Die geförderten Mengen würden aktuell für etwa 3 GWh_{eq}/a Batteriekapazitäten ausreichen. Die potenzielle Eigenversorgung durch diesen Rohstoff liegt damit bei unter einem Prozent.

Bis 2030 ist eine Erschließung neuer Kobaltlagerstätten nicht absehbar. Neue Standorte werden zwar erkundet, diese Erkundungen befinden sich jedoch in einem sehr frühen Stadium, sodass die Machbarkeit fraglich ist und ein Produktionsstart nicht abgeschätzt werden kann. Unter dem Eingang des Kapitels geschilderten Szenario, dass der Nickelanteil in den LIB steigen und der Kobaltanteil sinken wird, könnten

45 Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

46 <https://www.reuters.com/business/rio-tinto-keen-restart-talks-stalled-serbian-lithium-project-2022-05-05/> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

47 <https://www.reuters.com/business/environment/europes-green-deal-needs-get-round-anti-mining-roadblock-andy-home-2021-12-16/> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

durch die europäische Kobaltförderung 2030 über 6 GWh_{eq}/a produziert werden. Damit würde die europäische Eigenversorgung bei unter einem Prozent bleiben.

4.1.5 Graphiterz

Neben kleinen Operationen in Deutschland und Österreich wird natürlicher Graphit in Europa u. a. in der Ukraine und in Norwegen abgebaut. Die Fördermengen des norwegischen Standortes würden momentan für etwa 5 GWh_{eq}/a reichen. Damit könnten theoretisch knapp 5 % des europäischen Eigenbedarfs gedeckt werden.

Perspektivisch soll der norwegische Standort ausgebaut und Graphit zur Produktion von AAM in Norwegen liefern. Ergänzend wird in Schweden ein neues Graphitvorkommen erschlossen, das ab 2025 Graphit für Batterieanwendungen fördern könnte; zeitgleich wird eine Produktionsanlage für AAM aufgebaut (siehe Komponentenfertigung 2030). In Schweden gibt es eine weitere Graphitmine, die die Förderung aktuell aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt hat. In Anbetracht der aktuellen Markt- und Preisdynamik durch die hohe Nachfrage nach AAM könnte ein wirtschaftlicher Betrieb dieser Mine wieder möglich sein. Eine vergleichsweise schnelle Wiederinbetriebnahme ist durch die vorhandene Infrastruktur möglich. Durch die angekündigten Projekte könnte 2030 natürliches Graphit für gut 100 GWh_{eq}/a in Europa gewonnen werden. Damit könnte die potenzielle Eigenversorgung bei etwa 5 % stagnieren.

4.2 Materialherstellung

Die europäischen Kapazitäten zur Aufbereitung von Nickel und Kobalt sind größer als die europäischen Rohstoffvorkommen. Daher ist zur Auslastung der Anlagen ein Import von geeigneten Vorstufen notwendig. Einige der Raffinationsbetriebe betreiben eigene Förderstätten oder verfügen über notwendige Zugriffsrechte, um die Versorgung mit dem notwendigen Ausgangsmaterial sicherzustellen. 2030 werden die Lithiumraffinationskapazitäten vermutlich nahezu doppelt so groß sein wie die Kapazitäten der europäischen Lithiumrohstoffquellen. Wie bei Nickel und Kobalt verfügen auch hier einige Unternehmen über direkten Zugriff auf außereuropäische Rohstoffquellen, um die Grundversorgung sicherzustellen. Zur vollständigen Auslastung muss jedoch zusätzlich Ausgangsmaterial über die Rohstoffmärkte beschafft werden. Für eine sichere Versorgung sind daher verlässliche Partnerschaften eine Grundvoraussetzung.

4.2.1 Lithiumvorprodukte

In Europa gibt es aktuell wenige Standorte, die Lithium in signifikanten Mengen zu Lithiumcarbonat oder Lithiumhydroxid für Batterieanwendungen aufbereiten. In der Karte zum Status Quo sind zwei Standorte eingezeichnet, an denen Li-

thium zu Lithiumcarbonat oder Lithiumhydroxid aufbereitet wird. Es gibt weitere Standorte in Europa, an denen Lithium verarbeitet wird, jedoch ist nicht klar, ob diese auch Lithiumcarbonat oder Lithiumhydroxid für Batterieanwendungen herstellen. Daher sind diese in der Karte nicht berücksichtigt.

Bis 2030 sollen neue Aufbereitungsanlagen entstehen. Neben Aufbereitungsanlagen, die in der Nähe von potenziellen Förderstätten geplant sind und durch diese versorgt werden sollen, gibt es weitere Aufbereitungsanlagen, die nicht unmittelbar an europäische Förderstätten angebunden sind. Diese Aufbereitungsanlagen planen teilweise auf unternehmenseigene Förderstätten außerhalb Europas – beispielsweise in Brasilien oder Kanada – zuzugreifen und so die Grundversorgung mit Lithium sicherzustellen. Unternehmen ohne direkten Zugriff auf Förderstätten müssen geeignetes Vormaterial über den Rohstoffmarkt beziehen. Aufgrund der sehr hohen Nachfrage könnte es zu Angebotsengpässen und damit zu Engpässen bei der Versorgung der Raffinerien kommen. Mit über 700 GWh_{eq}/a ist die potenzielle Raffinationskapazität fast doppelt so groß wie die potenzielle Fördermenge, so dass zur Auslastung der Anlagen ein Import von Lithiumvormaterial zwingend notwendig ist. Die angekündigten Lithiumraffinerien könnten bei vollständiger Auslastung bis 2030 ca. 45 % des Bedarfs der angekündigten Zellfertigungskapazität decken.

4.2.2 Nickelvorprodukte

Die Nickelverarbeitung findet u. a. in Skandinavien, Großbritannien, Frankreich, Belgien, Deutschland und Österreich statt. Die Raffinationskapazitäten sind mit über 725 GWh_{eq}/a fast doppelt so groß wie die identifizierten europäischen Fördermengen, sodass die europäischen Aufbereitungsstandorte auf eine Versorgung durch außereuropäische Rohstoffquellen angewiesen sind. Zur Sicherstellung dieser Versorgung sind die Betreiber der Raffinerien in der Regel auch in der Rohstoffgewinnung aktiv und besitzen direkten Zugriff auf außereuropäische Rohstoffquellen. Durch die Nähe zu Seehäfen sind die Nickelraffinerien in der Regel gut an den internationalen Seeverkehr angebunden. Die in der Karte eingezeichneten Standorte zur Nickelaufbereitung in Zentraleuropa sind primär auf die Aufbereitung von Schrotten fokussiert. Theoretisch würde die Raffinationskapazität mehr als ausreichen, um den momentanen Bedarf der europäischen Zellfertigung zu decken.

Bis 2030 wird der Nickelbedarf für LIB ansteigen. Um diesem Bedarf gerecht zu werden, haben Unternehmen u. a. in Deutschland, Frankreich, Finnland und Zypern angekündigt die Produktionskapazitäten zu erhöhen. Trotz der angekündigten Erweiterung, ist nicht absehbar, dass bis 2030 in Europa signifikant mehr GWh_{eq}/a produziert werden können, da durch die Annahme, das 2030 das Kathodenmaterial NMC-811 verwendet wird, ein höherer Nickelbedarf vorliegt.

4.2.3 Manganvorprodukte

Eine Aufbereitung von Mangan zu EMM oder MSM in Batteriequalität für den Einsatz in LIB findet aktuell in Belgien statt. Die Kapazitäten könnten für etwa 12 GWh_{eq}/a NMC-622 CAM reichen. Damit könnte eine Eigenversorgung von gut 15 % erreicht werden. Die europäische Manganerzförderung würde theoretisch ausreichen, um diesen Bedarf zu decken. Da diese Fördermengen jedoch zur Herstellung von Legierungen verwendet werden, ist ein Import von geeignetem Vormaterial erforderlich.

Bis 2030 könnte durch den geplanten Manganabbau in Tschechien und die daran angeschlossene Aufbereitungsanlage Mangan in Batteriequalität für über 600 GWh_{eq}/a NMC-811 entstehen. Die potenzielle Eigenversorgung könnte auf knapp 40 % steigen.

4.2.4 Kobaltvorprodukte

Für Kobalt sind in Norwegen, Belgien und insbesondere Finnland Aufbereitungsanlagen vorhanden. Aufgrund begrenzter Rohstoffvorkommen in Europa müssen diese Standorte durch Importe versorgt werden. Aktuell können an diesen Standorten Kobalt für etwa 110 GWh_{eq}/a aufbereitet werden. Damit könnte theoretisch der Bedarf durch die europäische Zellfertigung mehr als gedeckt werden.

Die Raffinationskapazitäten sollen bis 2030 teilweise ausgebaut werden. Unter der Prämisse, dass der Kobaltbedarf durch nickelreiches Kathodenmaterial zukünftig sinken wird, könnten 2030 mit den projizierten Raffinationskapazitäten über 325 GWh_{eq}/a an NMC-811 erzeugt werden. Die potenzielle Eigenversorgung würde auf ca. 20 % absinken.

4.2.5 Graphitvorprodukte

Eine Betrachtung von Standorten, an denen natürliches Graphit zu einem Vorprodukt für die Fertigung von AAM aufbereitet wird, ist nicht Gegenstand dieser Studie. Daher wird der Rohstoff Graphit in diesem Abschnitt nicht analysiert. Eine Analyse der Standorte zur Fertigung von AAM findet im Abschnitt Komponentenfertigung statt.

Exkurs: Handelsdaten

In dieser Studie wurden 95 Zwischenprodukte entlang der Wertschöpfungskette vom Rohmaterial bis zu den Ausgangsstoffen für die Batteriezellfertigung für die am weitesten verbreiteten Zelltechnologien NMC, NCA und LF(M)P identifiziert (siehe Abbildung 1). Da die Raffinationsbetriebe im Betrachtungsraum auf Rohstoffimporte angewiesen sind, wurden über Trade Map ausgehend von deren Förderländern (siehe Kap. 3) Handelsgruppen⁴⁸ für die in dieser Studie betrachteten Elemente Lithium, Nickel, Mangan, Kobalt und Graphit recherchiert. Alle Handelsgruppen, die für die Batteriezellfertigung relevante Zwischenprodukte vom Rohstoff (Erze) bis hin zu Raffinationsprodukten umfassen, wurden hinsichtlich der globalen Exportvolumina und der Mengen, die in den Betrachtungsraum importiert werden, analysiert. Es zeigt sich, dass der überwiegende Teil der betrachteten Handelsbeziehungen ein geringes bis mäßiges gewichtetes Länderrisiko aufweist. Auffällig ist, dass in mehreren Fällen das Länderrisiko des Imports in den Betrachtungsraum höher ist als das des globalen Exports. Hinsichtlich Länderkonzentration kann festgestellt werden, dass die Länderkonzentration mit wenigen Ausnahmen generell hoch ist und Importe in den Betrachtungsraum zumeist eine höhere Länderkonzentration aufweisen als der globale Export.

In der Gesamtbetrachtung aller ausgewerteten Rohstoffe liegen sowohl der globale Export als auch der Import in den Betrachtungsraum in der mittleren Risikogruppe (2,75 bzw. 2,67 von 5). Hinsichtlich der Importe in den Betrachtungsraum befinden sich alle betrachteten Nickel-Warengruppen sowie das Kobaltpulver in den niedrigsten Risikogruppen (1/5 und 2/5). In der zweithöchsten Risikogruppe (4/5) sind die Warengruppen „Mangan und deren Waren“ sowie natürlicher Graphit (HS 250490) zu finden. Alle übrigen betrachteten Warengruppen befinden sich in der mittleren Risikogruppe 3/5.

Lithium

Der globale Export von **Lithiumcarbonat** (HS 283691) ist auf wenige Herkunftsländer beschränkt, sodass eine hohe Länderkonzentration (HHI: 5.581) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer fällt gering aus (GLR: 0,67). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von Lithiumcarbonat in der niedrigen Risikogruppe (2/5).

Der Import von Lithiumcarbonat in den Betrachtungsraum machte 2020 ungefähr 12 % des gesamten globalen Exports aus. Wie in Abbildung 14 (blaue Kreisfläche) gezeigt ist der Import in den Betrachtungsraum weniger divers als der glo-

48 Eine Beschreibung der zugrundeliegenden Daten ist im Anhang gegeben.

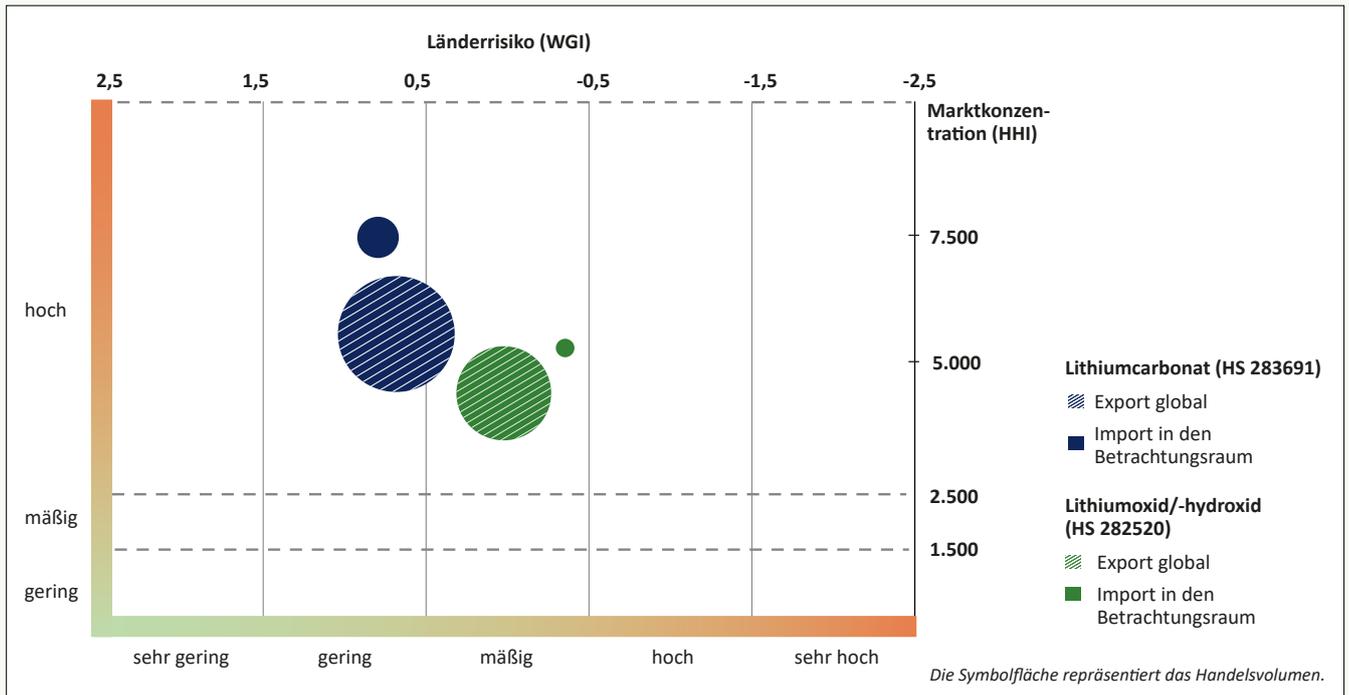


Abbildung 14: Verortung der Handelsvolumina von Lithiumcarbonat (blau, HS 283691) und Lithiumoxid/-hydroxid (grün, HS 282520) anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und dem Herfindahl-Hirschman-Index (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Lithiumcarbonat (144 kt) und Lithiumoxid/-hydroxid (88 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Lithiumcarbonat (17,5 kt) und Lithiumoxid/-hydroxid (3,5 kt). Eigene Darstellung.

bale Export. Entsprechend liegt die Länderkonzentration höher (HHI: 7.414). Der Import erfolgt allerdings aus Ländern, die im Mittel ein geringeres Länderrisiko (GLR: 0,77) aufweisen. Dennoch hat die höhere Länderkonzentration zur Folge, dass das Risiko für den Import von Lithiumcarbonat in den Betrachtungsraum mäßig (Risikogruppe 3/5) ist und damit eine höhere Risikogruppe einnimmt als der globale Export. Aufgrund der weniger diversen Exportländer erscheint die Lieferkette daher weniger stabil gegenüber Disruptionen als der globale Handel.

Der globale Export von **Lithiumoxid/hydroxid** (HS 282520) erfolgt durch wenige Länder, sodass eine hohe Länderkonzentration (HHI: 4.499) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer ist mäßig (GLR: 0,01). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von Lithiumoxid/hydroxid in der mittleren Risikogruppe (3/5).

Der Import in den Betrachtungsraum betrug 2020 lediglich 4 % des gesamten globalen Exports. Im Vergleich zum globalen Export fallen sowohl die Länderkonzentration (HHI: 5.285) als auch das gewichtete Länderrisiko (GLR: -0,38) des Imports höher aus (vgl. Abbildung 14, grüne Kreisfläche). Entsprechend der hohen Länderkonzentration und des mäßigen Länderrisikos liegt der Import von Lithiumoxid/hydroxid in der mittleren Risikogruppe (3/5). Allerdings ist der Import in den Betrachtungsraum kritischer zu bewerten als der globale Export und die existenten globalen Lieferketten bieten die

Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Nickel

Der globale Export von Rohnickel (HS 750210) ist auf zahlreiche Herkunftsländer verteilt, sodass eine mäßige Länderkonzentration (HHI: 1.680) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer fällt gering aus (GLR: 0,84). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von Rohnickel in der sehr niedrigen Risikogruppe (1/5).

Der Import von **Rohnickel** in den Betrachtungsraum machte 2020 ca. 20 % des gesamten globalen Exports aus. Wie in Abbildung 15 (grüne Kreisfläche) gezeigt, erfolgt der Import in den Betrachtungsraum aus weniger Ländern als der globale Export. Die Länderkonzentration ist mit hoch zu bewerten (HHI: 3.071). Die Herkunftsländer weisen zudem ein erhöhtes gewichtetes Länderrisiko auf (GLR: 0,35), sodass der Import von Rohnickel in der mittleren Risikogruppe (3/5) liegt und somit eine höhere Risikogruppe einnimmt als der globale Export. Die existenten globalen Lieferketten bieten folglich die Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Der globale Export von **Nickelmatte** (HS 750110) erfolgt durch viele Länder, sodass eine mäßige Länderkonzentration (HHI: 2.601) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer ist gering (GLR: 0,51). Entsprechend der kombi-

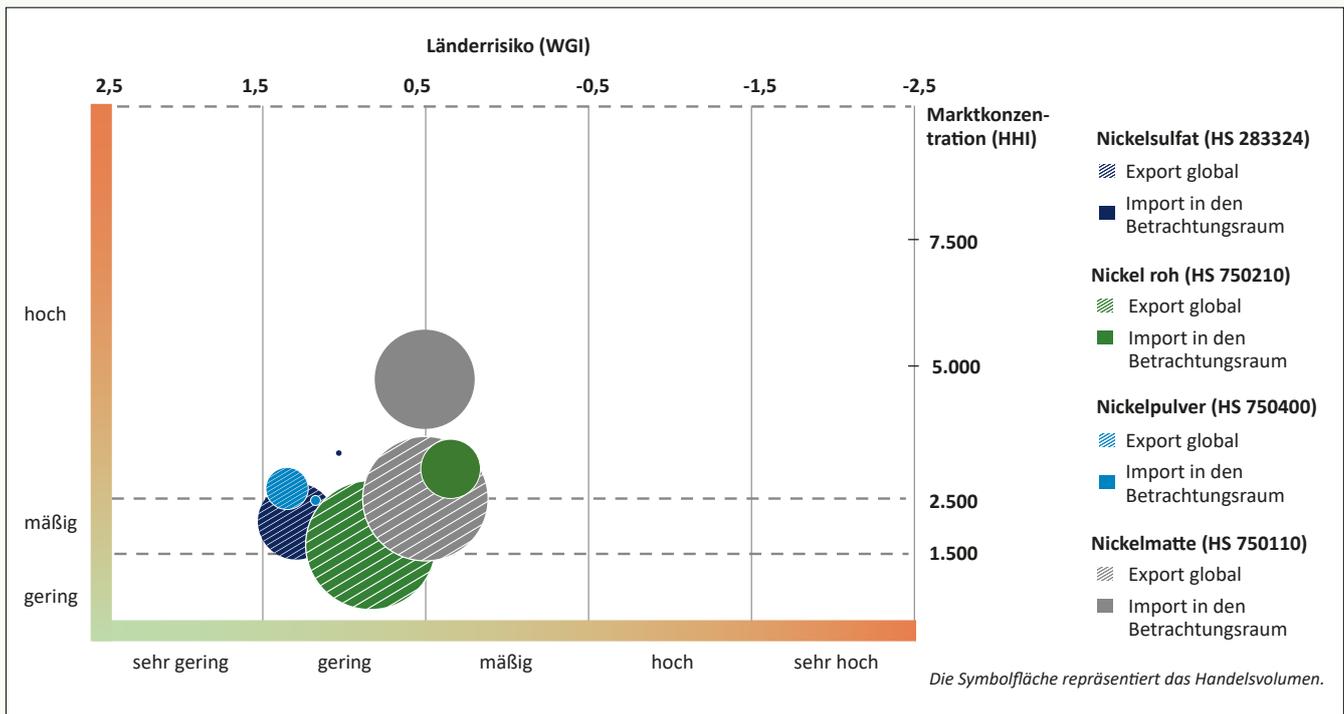


Abbildung 15: Verortung der Handelsvolumina von Nickelsulfat (blau, HS 283324), Rohnickel (grün, HS 750210), Nickelpulver (hellblau, HS 750400) und Nickelmatte (grau, HS 750110) anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und des Herfindahl-Hirschman-Indexes (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welt-handelsvolumen Nickelsulfat (169 kt), Nickel roh (477 kt), Nickel Pulver (49 kt), Nickelmatte (431 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Nickelsulfat (0,85 kt), Nickel roh (97 kt), Nickel Pulver (2,7 kt), Nickelmatte (273 kt). Eigene Darstellung.

nierten Betrachtung liegt der globale Export von Nickelmatte in der niedrigen Risikogruppe (2/5).

Der Import von Nickelmatte in den Betrachtungsraum betrug 2020 ca. 63 % des gesamten globalen Exports und erfolgte vornehmlich aus zwei Ländern (Kanada und Russische Föderation). Im Vergleich zum globalen Export fällt somit die Länderkonzentration (HHI: 4.795) deutlich höher aus (vgl. Abbildung 15, graue Kreisfläche). Das gewichtete Länderrisiko des Imports liegt auf dem Niveau des Exports (GLR: 0,5). Entsprechend der hohen Länderkonzentration und des geringen Länderrisikos liegt der Import von Nickelmatte ebenfalls in der niedrigen Risikogruppe (2/5). Allerdings ist der Import in den Betrachtungsraum kritischer zu bewerten als der globale Export und die existenten globalen Lieferketten bieten die Option, den Import zu diversifizieren.

Der globale Export von **Nickelsulfat** (HS 283324) ist auf zahlreiche Herkunftsländer verteilt, sodass eine mäßige Länderkonzentration (HHI: 2.050) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer fällt gering aus (GLR: 1,29). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von Rohnickel in der sehr niedrigen Risikogruppe (1/5).

Der Import von Nickelsulfat in den Betrachtungsraum machte 2020 ca. 0,5 % des gesamten globalen Exports aus. Wie in Abbildung 15 (blaue Kreisfläche) gezeigt erfolgt der Import in

den Betrachtungsraum aus weniger Ländern als der globale Export. Die Länderkonzentration ist mit hoch zu bewerten (HHI: 3.367). Die Herkunftsländer weisen zudem ein höheres gewichtetes Länderrisiko auf (GLR: 1,03), sodass der Import von Nickelsulfat in der niedrigen Risikogruppe (2/5) liegt und somit eine höhere Risikogruppe einnimmt als der globale Export. Die existenten globalen Lieferketten bieten folglich die Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Mangan

Aus der Abbildung 16 (blaue Kreisfläche) wird ersichtlich, dass der globale Export der Warengruppe „Mangan und deren Waren“ (HS 811100) auf wenige Herkunftsländer beschränkt und dementsprechend hoch konzentriert (HHI: 7.024) ist. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer ist mäßig (GLR: 0,09). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export in der zweithöchsten Risikogruppe (4/5).

Der Import von „Mangan und deren Waren“ in den Betrachtungsraum betrug 2020 ca. 20 % des gesamten globalen Exports. Im Vergleich zum globalen Export fallen sowohl die Länderkonzentration (HHI: 7.829) als auch das gewichtete Länderrisiko (GLR: -0,27) des Imports noch etwas höher aus. Entsprechend der hohen Länderkonzentration und des mäßigen Länderrisikos liegt der Import von „Mangan und deren Waren“ in der zweithöchsten Risikogruppe (4/5). Allerdings

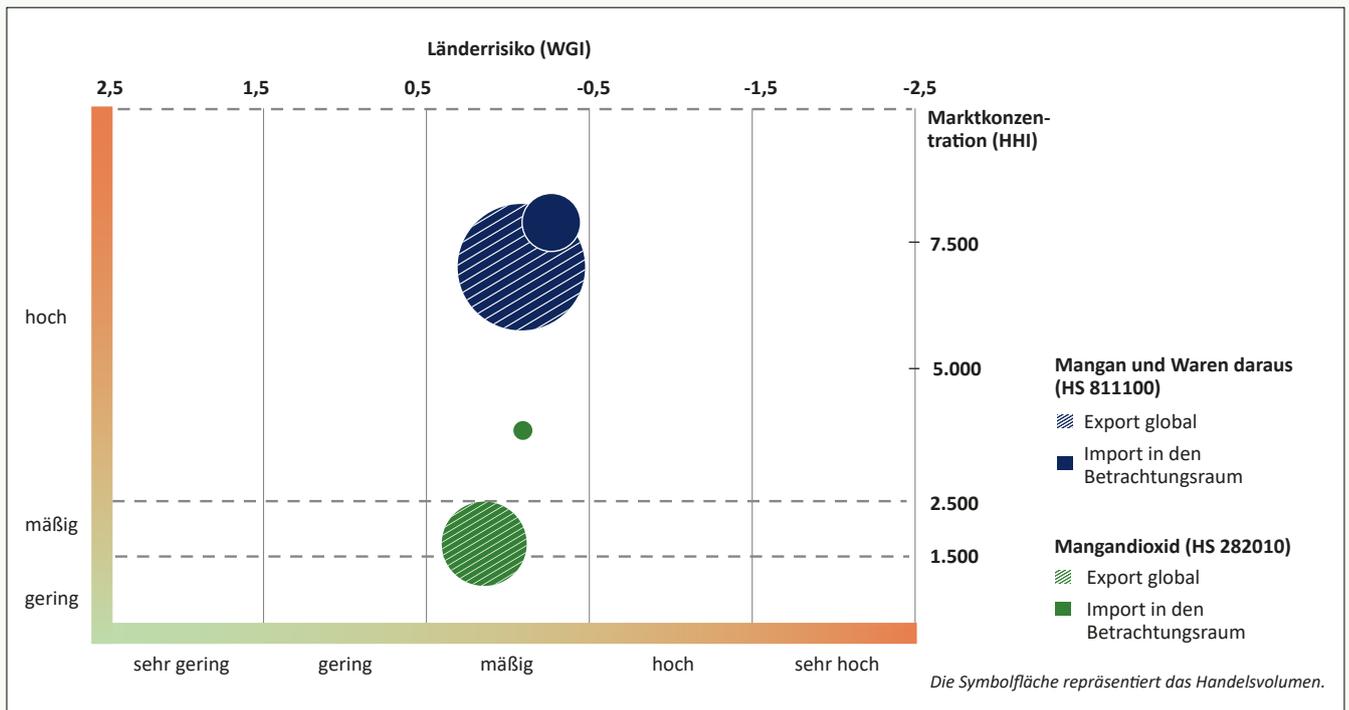


Abbildung 16: Verortung der Handelsvolumina von „Mangan und Waren daraus“ (blau, HS 811100) und Mangandioxid (grün, HS 282010) anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und dem Herfindahl-Hirschman-Index (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Mangan und Waren daraus (444 kt), Mangandioxid (196 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Mangan und Waren daraus (90 kt), Mangandioxid (9,5 kt). Eigene Darstellung.

ist der Import in den Betrachtungsraum etwas kritischer zu bewerten als der globale Export. Die existierenden globalen Lieferketten bieten die Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Der globale Export von **Mangandioxid** (HS 282010) erfolgt durch viele Länder, sodass eine mäßige Länderkonzentration (HHI: 1.724) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer ist gering (GLR: 0,15). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von Mangandioxid in der niedrigen Risikogruppe (2/5).

Der Import von Mangandioxid in den Betrachtungsraum betrug 2020 ca. 4,8 % des gesamten globalen Exports und erfolgte aus deutlich weniger als den insgesamt am Export beteiligten Ländern. Im Vergleich zum globalen Export fällt somit die Länderkonzentration (HHI: 3.857) deutlich höher aus (vgl. Abbildung 16, grüne Kreisfläche). Das gewichtete Länderrisiko des Imports liegt leicht über dem des Exports (GLR: -0,09). Entsprechend der hohen Länderkonzentration und des mäßigen Länderrisikos liegt der Import von Mangandioxid in der mittleren Risikogruppe (3/5) und nimmt somit eine höhere Risikogruppe ein als der globale Export. Die existierenden globalen Lieferketten bieten folglich die Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Kobalt

Der globale Export von **Kobaltoxid/-hydroxid** (HS 282200) ist auf zahlreiche Herkunftsländer verteilt, sodass eine mäßige Länderkonzentration (HHI: 2.200) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer fällt mäßig aus (GLR: -0,11). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von Kobaltoxid/-hydroxid in der niedrigen Risikogruppe (2/5).

Der Import von Kobaltoxid/-hydroxid in den Betrachtungsraum betrug 2020 ca. 5 % des gesamten globalen Exports und erfolgte aus deutlich weniger als den insgesamt am Export beteiligten Ländern. Im Vergleich zum globalen Export fällt somit die Länderkonzentration (HHI: 5.084) deutlich höher aus (vgl. Abbildung 17, grüne Kreisfläche). Das gewichtete Länderrisiko des Imports liegt leicht über dem des Exports (GLR: -0,41). Entsprechend der hohen Länderkonzentration und des mäßigen Länderrisikos liegt der Import von Kobaltoxid/-hydroxid in der mittleren Risikogruppe (3/5) und nimmt somit eine höhere Risikogruppe ein als der globale Export. Die existierenden globalen Lieferketten bieten folglich die Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Aus Abbildung 17 (blaue Kreisfläche) wird ersichtlich, dass der globale Export von **Kobaltpulver** (HS 810520) auf wenige Herkunftsländer beschränkt und dementsprechend hochkonzentriert (HHI: 7.353) ist. Das gewichtete Länderrisiko der

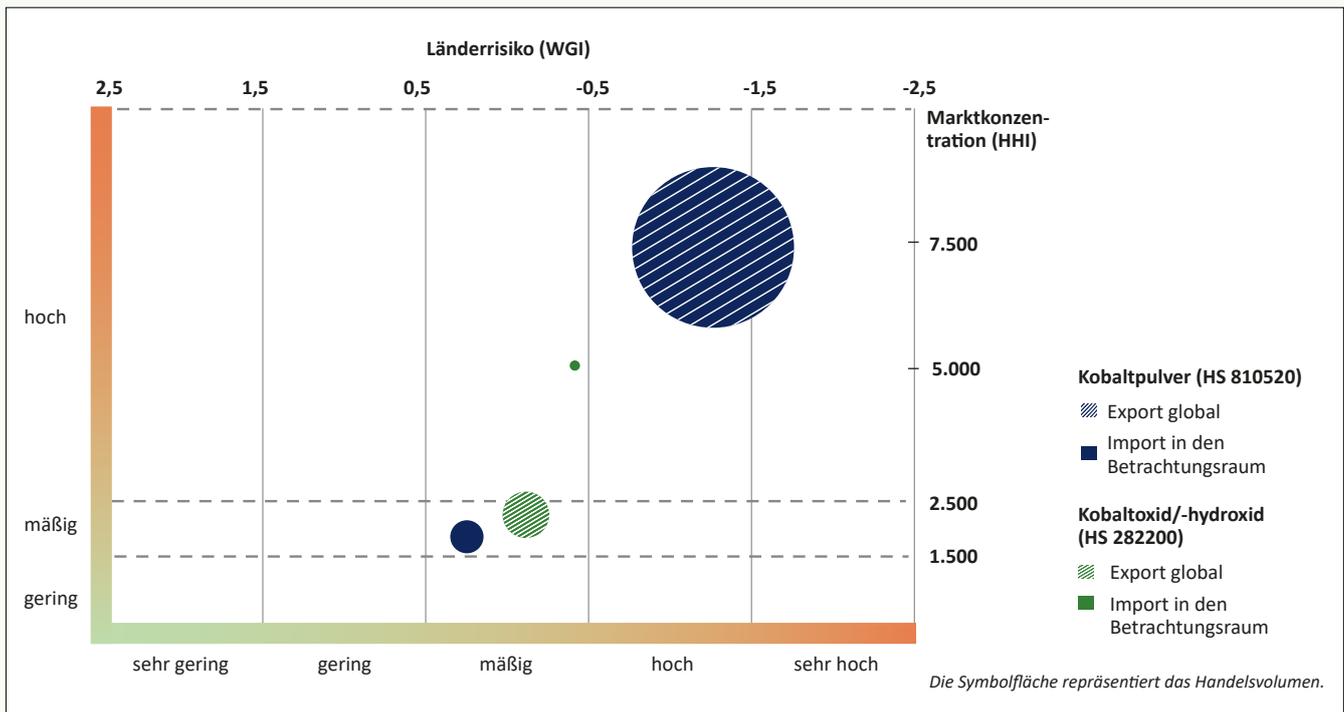


Abbildung 17: Verortung der Handelsvolumina von Kobaltoxid/-hydroxid (blau, HS 810520) und Kobaltpulver (grün, HS 282200) anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und dem Herfindahl-Hirschman-Index (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Kobaltpulver (353 kt), Kobaltoxid/-hydroxid (28 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Kobaltpulver (14,5 kt), Kobaltoxid/-hydroxid (1,4 kt). Eigene Darstellung.

Exportländer ist hoch (GLR: -1,24). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export in der höchsten Risikogruppe (4/5).

Der Import von Kobaltpulver in den Betrachtungsraum betrug 2020 ca. 4 % des gesamten globalen Exports. Im Vergleich zum globalen Export fallen sowohl die Länderkonzentration (HHI: 1.832) als auch das gewichtete Länderrisiko (GLR: 0,25) des Imports deutlich geringer aus. Entsprechend der mäßigen Länderkonzentration und des mäßigen Länderrisikos liegt der Import von Kobaltpulver in der niedrigen Risikogruppe (2/5) und nimmt somit eine geringere Risikogruppe ein als der globale Export. Die existierenden globalen Lieferketten bieten folglich wenig Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Graphit

Graphit wird in drei Form gehandelt: natürlich als Pulver und Flocken (HS 250410), natürlich ohne Pulver und Flocken (HS 50490) und als künstlicher Graphit (HS 380110).

Der globale Export von **natürlichem Graphit als Pulver und Flocken** (HS 250410) erfolgt durch mehrere Länder, sodass eine hohe Länderkonzentration (HHI: 2.954) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer fällt mäßig aus (GLR: 0,02). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von natürlichem Graphit als Pulver und Flocken in der mittleren Risikogruppe (3/5).

Der Import von natürlichem Graphit als Pulver und Flocken in den Betrachtungsraum betrug 2020 ca. 20 % des gesamten globalen Exports. Im Vergleich zum globalen Export fällt die Länderkonzentration des Imports etwas geringer (HHI: 2.647) und das gewichtete Länderrisiko (GLR: 0,37) etwas höher aus. Entsprechend der hohen Länderkonzentration und des mäßigen Länderrisikos liegt der Import von natürlichem Graphit als Pulver und Flocken in der mittleren Risikogruppe (3/5). Allerdings ist der Import in den Betrachtungsraum etwas kritischer zu bewerten als der globale Export. Die existierenden globalen Lieferketten bieten geringe Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Der globale Export von **natürlichem Graphit ohne Pulver und Flocken** (HS 250490) ist auf wenige Länder beschränkt, sodass eine hohe Länderkonzentration (HHI: 8.354) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer fällt gering aus (GLR: 0,89). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von natürlichem Graphit als Pulver und Flocken in der mittleren Risikogruppe (3/5).

Der Import von natürlichem Graphit ohne Pulver und Flocken in den Betrachtungsraum betrug 2020 ca. 0,1 % des gesamten globalen Exports. Im Vergleich zum globalen Export fällt die Länderkonzentration des Imports etwas geringer (HHI: 6.629) und das gewichtete Länderrisiko (GLR: 0,23) deutlich höher aus. Entsprechend der hohen Länderkonzentration und des mäßigen Länderrisikos liegt der Import

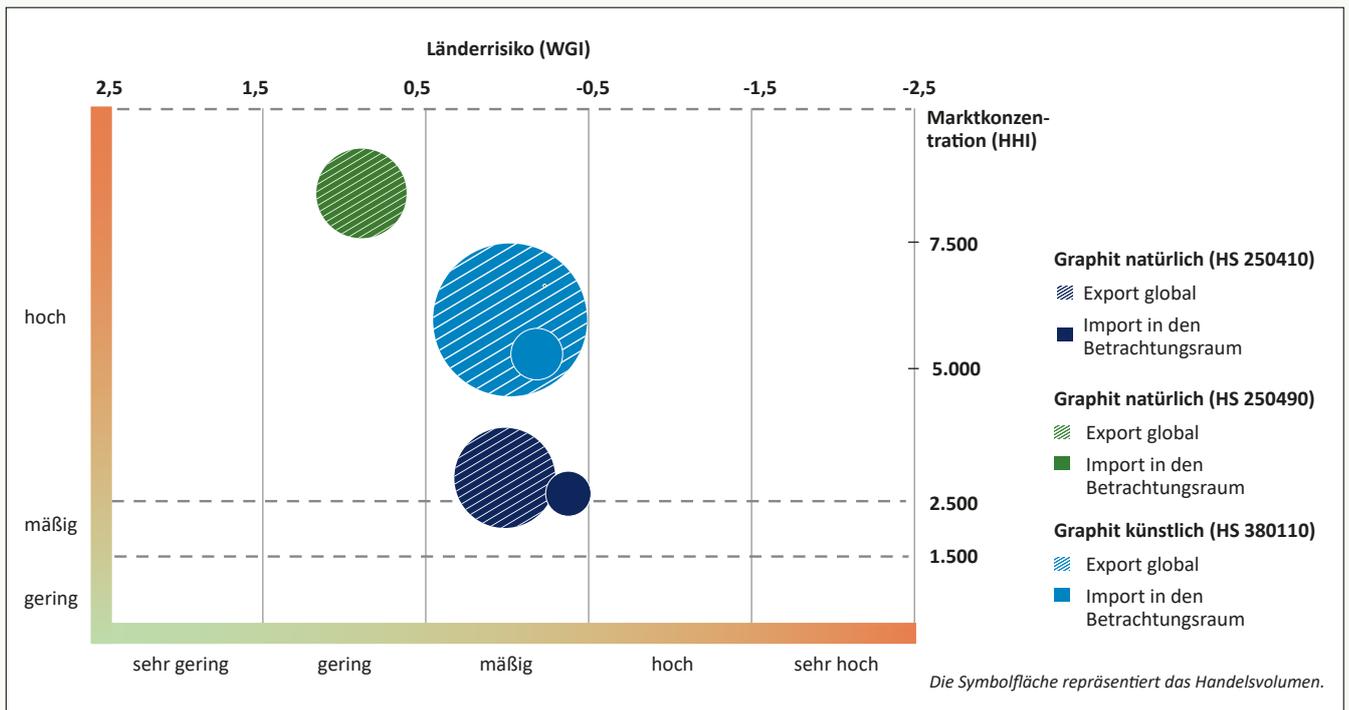


Abbildung 18: Verortung der Handelsvolumina von Graphit – natürlich Pulver und Flocken (blau, HS 250410), natürlich ohne Pulver und Flocken (grün, HS 250490) und künstlich (türkis, HS 380110) – anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und des Herfindahl-Hirschman-Indexes (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Graphit natürlich HS 250410 (347 kt), Graphit natürlich HS 250490 (284 kt), Graphit künstlich (793 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Graphit natürlich HS 250410 (69 kt), Graphit natürlich HS 250490 (0,3 kt), Graphit künstlich (90,6 kt). Eigene Darstellung.

von natürlichem Graphit als Pulver und Flocken in der zweithöchsten Risikogruppe (4/5) und nimmt somit eine höhere Risikogruppe ein als der globale Export. Die existenten globalen Lieferketten bieten folglich die Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

Der globale Export von **künstlichem Graphit** (HS 380110) erfolgt durch mehrere Länder, sodass eine hohe Länderkonzentration (HHI: 6.027) vorliegt. Das gewichtete Länderrisiko der Exportländer fällt mäßig aus (GLR: -0,01). Entsprechend der kombinierten Betrachtung liegt der globale Export von natürlichem Graphit als Pulver und Flocken in der mittleren Risikogruppe (3/5).

Der Import von künstlicher Graphit in den Betrachtungsraum betrug 2020 ca. 11 % des gesamten globalen Exports. Im Vergleich zum globalen Export fällt die Länderkonzentration des Imports etwas geringer (HHI: 5.346) und das gewichtete Länderrisiko (GLR: 0,17) etwas höher aus. Entsprechend der hohen Länderkonzentration und des mäßigen Länderrisikos liegt der Import von künstlichem Graphit als in der mittleren Risikogruppe (3/5). Allerdings ist der Import in den Betrachtungsraum etwas kritischer zu bewerten als der globale Export. Die existenten globalen Lieferketten bieten geringe Option, den Import zu diversifizieren und das Risiko der Exportländer zu reduzieren.

4.3 Komponentenfertigung

Europa verfügt aktuell über geringe Kapazitäten in der Komponentenfertigung. Bis 2030 sollen die Produktionskapazitäten in Europa deutlich ausgebaut werden. Diese Kapazitäten werden jedoch nach jetzigem Kenntnisstand nicht ausreichen, um die Bedarfe der Batteriezellfertigung zu decken. Daher wird Europa zukünftig auf den Import von Aktivmaterialien sowie von Vormaterial angewiesen sein. Insbesondere bei den Präkusoren zeigt sich ein großes Kapazitätsdefizit gegenüber der CAM Herstellung bzw. der Batteriezellfertigung. Es ist durchaus möglich, dass einige CAM-Standorte auch über Produktionslinien zur Herstellung von pCAM verfügen und so das Defizit verringert werden kann. Dennoch könnten sich hier kritische Abhängigkeiten ergeben, sollte die Versorgung mit den für die Produktion essentiellen Vormaterialien nicht sichergestellt werden.

Die Ankündigungen von Standorten zur Herstellung von Batteriekomponenten in Skandinavien verdeutlichen die dortigen Ambitionen, die Batteriewertschöpfungskette weiter zu erschließen und aktiv am europäischen Batterieökosystem mitzuwirken.

4.3.1 Präkusoren für Kathodenaktivmaterial

In Europa ist kein Standort bekannt, der aktuell Präkursoren für Kathodenaktivmaterial (pCAM) fertigt.

Bis 2030 sind in Finnland zwei Standorte geplant, die über 40 GWh_{eq}/a fertigen sollen. Damit könnte der prognostizierte Bedarf 2030 zu 2,5 % gedeckt werden. Gegebenfalls findet

eine Fertigung von pCAM auch direkt an geplanten CAM Produktionsstandorten statt. Hierdurch würde sich die Eigenversorgung weiter erhöhen.

4.3.2 Kathodenaktivmaterial

Kathodenaktivmaterial (CAM) wird u. a. in Deutschland und in Polen produziert. Der identifizierte Standort in Deutschland betreibt dort eine Pilotanlage mit vergleichsweise geringer Kapazität. Das Werk in Polen kann in naher Zukunft CAM für bis zu 20 GWh_{eq}/a liefern.

Bis 2030 sollen die Standorte in Deutschland und Polen zum Teil deutlich ausgebaut werden. Zusätzlich sind neue Standorte oder Erweiterungen in Polen, Finnland, Schweden, Norwegen und Ungarn angekündigt. Insgesamt könnten 2030 mehr als 450 GWh_{eq}/a CAM bereitgestellt werden. Damit könnte die CAM Fertigung zu knapp 30 % den potenziellen Bedarf der Zellfertigung in Europa decken.

4.3.3 Anodenaktivmaterial

Anodenaktivmaterial (AAM) wird aktuell im Pilotmaßstab in der Schweiz und Polen hergestellt. Diese Standorte verarbeiten kein natürliches Graphit, sondern nutzen synthetisches Graphit. Zu den exakten Produktionskapazitäten liegen keine Angaben vor. Die Produktionskapazität soll in den nächsten Jahren erweitert werden.

Bis 2030 sind in Norwegen, Schweden, Finnland, Frankreich und Deutschland weitere Standorte angekündigt, an denen synthetisches oder natürliches Graphit zur Herstellung von AAM verwendet werden soll. Die Verarbeitung von natürli-

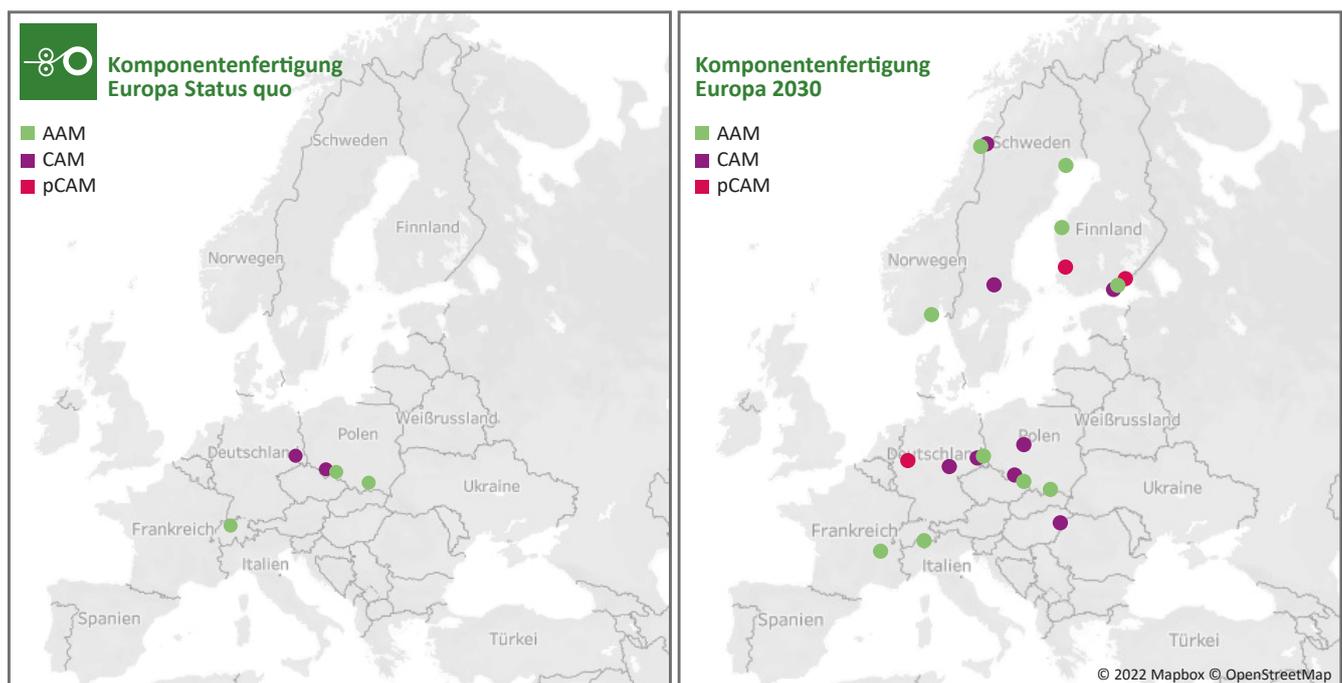


Abbildung 19: Komponentenfertigung im Betrachtungsraum: bestehende Fabriken (links) sowie ergänzt um bis 2030 angekündigte Fabriken (rechts). Eigene Darstellung.

chem Graphit zu AAM ist insbesondere an Standorten geplant, die sich in der Nähe von Graphitförderstätten befinden. Die angekündigten Standorte könnten AAM für mehr als 350 GWh_{eq}/a liefern. Damit würde der potenzielle Bedarf der europäischen Zellfertigung zu ca. 20 % gedeckt werden können.

4.4 Batteriezellfertigung

Die Produktion von Lithium-Ionen-Zellen erfolgt derzeit an mehreren Standorten (Abbildung 20, links), wobei Fabriken mit großen Produktionskapazitäten nahezu ausschließlich in Polen und Ungarn zu finden sind. Die operative Kapazität aller Hersteller im Betrachtungsraum lag 2021 bei rund 25 GWh/a und wird im Jahr 2022 voraussichtlich ca. 80 GWh/a betragen.

Viele Hersteller haben einen Auf- und Ausbau von Produktionsstätten bis zum Jahr 2030 angekündigt. Die angekündigten Zellfabriken (Abbildung 20, rechts) verfügen über eine maximale Produktionskapazität von rund 1.660 GWh/a. Die meisten Fabriken und somit auch die höchste Produktionskapazität sind für Deutschland angekündigt. Eine Übersicht zu den Produktionsstandorten in Europa ist dem Marktupdate der wissenschaftlichen Begleitung Batteriezellfertigung zu entnehmen.⁴⁹ Für etwa 10 % der angekündigten Produkti-

onskapazitäten sind die genauen Standorte von den Herstellern noch nicht bekannt gegeben worden.

Bis zum Ende des Jahrzehnts könnte sich die maximale Produktionskapazität im Betrachtungsraum etwa verzehnfachen. Infolge dessen wird auch der Bedarf an Komponenten bzw. Materialien und somit auch an Rohstoffen signifikant ansteigen. Für die Betrachtung der Versorgungssituation wurden die seitens der Hersteller angegebenen Zellfertigungskapazitäten gerundet, d. h. in Höhe von 80 GWh für 2022 und in Höhe von 1.600 GWh für 2030 zugrunde gelegt. Wie das Marktupdate Q4 2022 der wissenschaftlichen Begleitung zeigt, sollten diese Kapazitäten ausreichen, um eine vollständige Versorgung der europäischen Fahrzeugproduktion zu ermöglichen.

4.5 Batterierecycling

Die europäische Batterierecyclingindustrie plant aus aktueller Sicht im Betrachtungszeitraum bis 2030 ausreichend Kapazitäten, um den Rücklauf an ausgedienten Traktionsbatterien verarbeiten und recyceln zu können. Die große Anzahl an Standorten ermöglicht ein dezentrales Recycling. Es könnten sogar Kapazitäten vorhanden sein, um ausgediente Traktionsbatterien von außerhalb der EU zu recyceln. Es gilt frühzeitige Kooperationsvereinbarung zur Versorgung mit

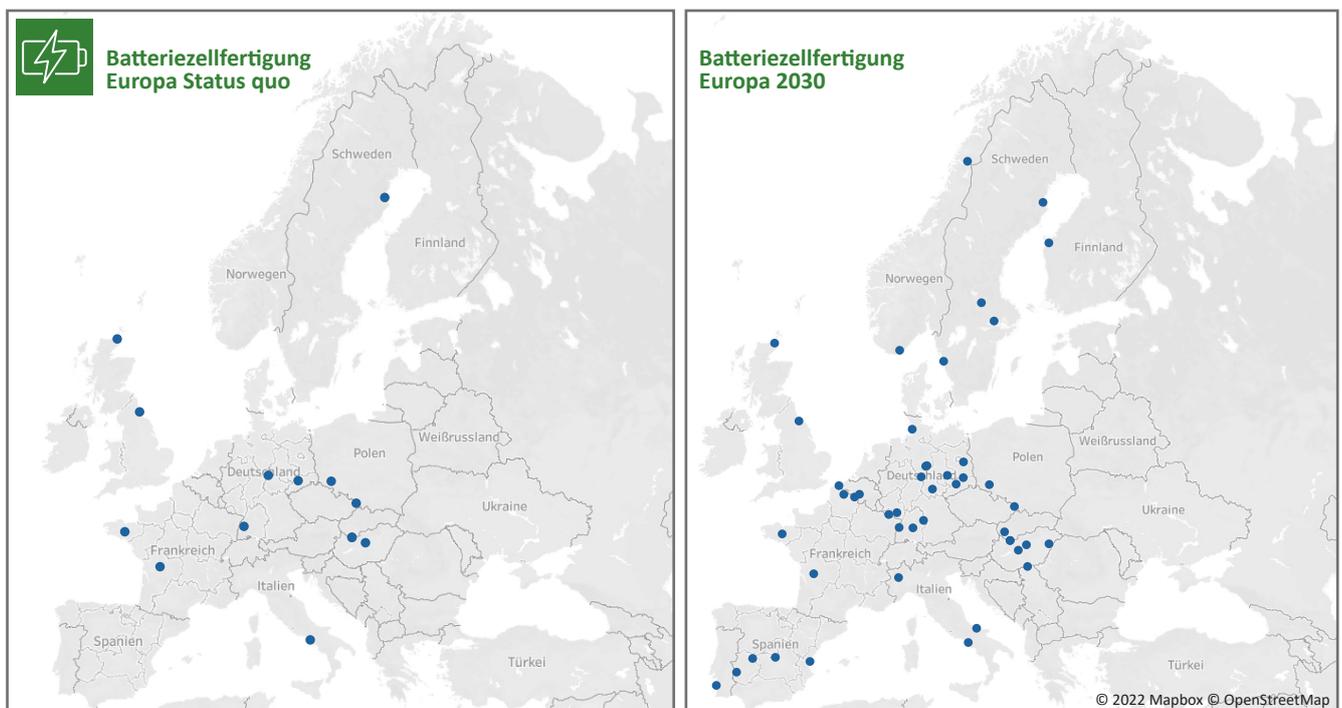


Abbildung 20: Batteriezellfertigung im Betrachtungsraum; bestehende Fabriken (links) sowie ergänzt um bis 2030 angekündigte Fabriken (rechts). Eigene Darstellung.

solchen Altbatterien zu schließen, um eine wirtschaftliche Auslastung der geplanten Recyclinganlagen zu gewährleisten. Es muss in Form der europäischen Batterieverordnung ein verbindlicher Rechtsrahmen geschaffen werden, der Planungssicherheit gibt und Verantwortlichkeiten und Besitzverhältnisse klar regelt.

Recyclingstandorte gibt es u. a. in Belgien, Deutschland, Finnland, Frankreich, Norwegen, Polen, Spanien sowie Ungarn. Sie sind somit praktisch in ganz Europa vertreten. Die Standorte können dabei unterschiedliche Recyclingschritte ausführen. Es gibt z. B. Standorte, die ausgediente Traktionsbatterien zerlegen und anschließend pyrometallisch recyceln. Alternativ können zerlegte Batterien weiter mechanisch aufbereitet werden und sogenannte Schwarzmasse erzeugt werden. Daneben gibt es Standorte, die Schwarzmasse oder anderes zurückgewonnenes Recyclingmaterial hydrometallurgisch aufbereiten und so Rohstoffe wie Nickel, Lithium oder Kobalt wieder für die Batterieindustrie verfügbar machen. Die Anzahl an Standorten, die im ersten Schritt ein pyrometallisches Recycling durchführen oder Schwarzmasse erzeugen ist im Allgemeinen größer als die Anzahl an Standorten, die durch hydrometallurgische Verfahren die Rohstoffe weiter aufbereiten. Die Erzeugung von Schwarzmasse erfolgt dementsprechend dezentral, während die Rückgewinnung von Rohstoffen aus aufbereiteter Schwarzmasse zentral erfolgt.

Die zurückgewonnenen Rohstoffbestandteile können bei ausreichender Qualität direkt in die Wertschöpfungsstufe Komponentenfertigung eingebracht werden. Bei nicht ausreichender Qualität können die Rohstoffbestandteile über die Wertschöpfungsstufe Materialaufbereitung weiter raffiniert werden.

Recyclinganlagen sind u. a. in der Nähe von Zellproduktionsstandorten z. B. in Polen und Ungarn zu finden. Diese Standorte sind neben dem Recycling von ausgedienten Traktionsbatterien insbesondere darauf spezialisiert Ausschuss aus der Zellproduktion aufzubereiten.

Bis 2030 ist ein weiterer Zuwachs an Standorten in ganz Europa zu beobachten. Dieser Zuwachs ermöglicht es, die Transportwege von defekten Batterien kurz und damit die Logistikkosten niedrig zu halten.

Aufgrund einer erwarteten Lebensdauer von über zehn Jahren wird der Beitrag zur Rohstoffversorgung durch das Recycling von Altbatterien bis 2030 im einstelligen Prozentbereich liegen.⁵⁰ Bis 2030 rechnet Circular Energy Storage beispielsweise mit einem Rücklauf von gut 300.000 t Batterien in Europa, die am Ende ihres Lebenszyklus angekommen sind.⁵¹ Unter der Annahme einer idealen Recyclingeffizienz und dass die zurückgewonnenen Batterien im Schnitt eine spezifische Energie zwischen 100 kWh/t und 200 kWh/t ha-

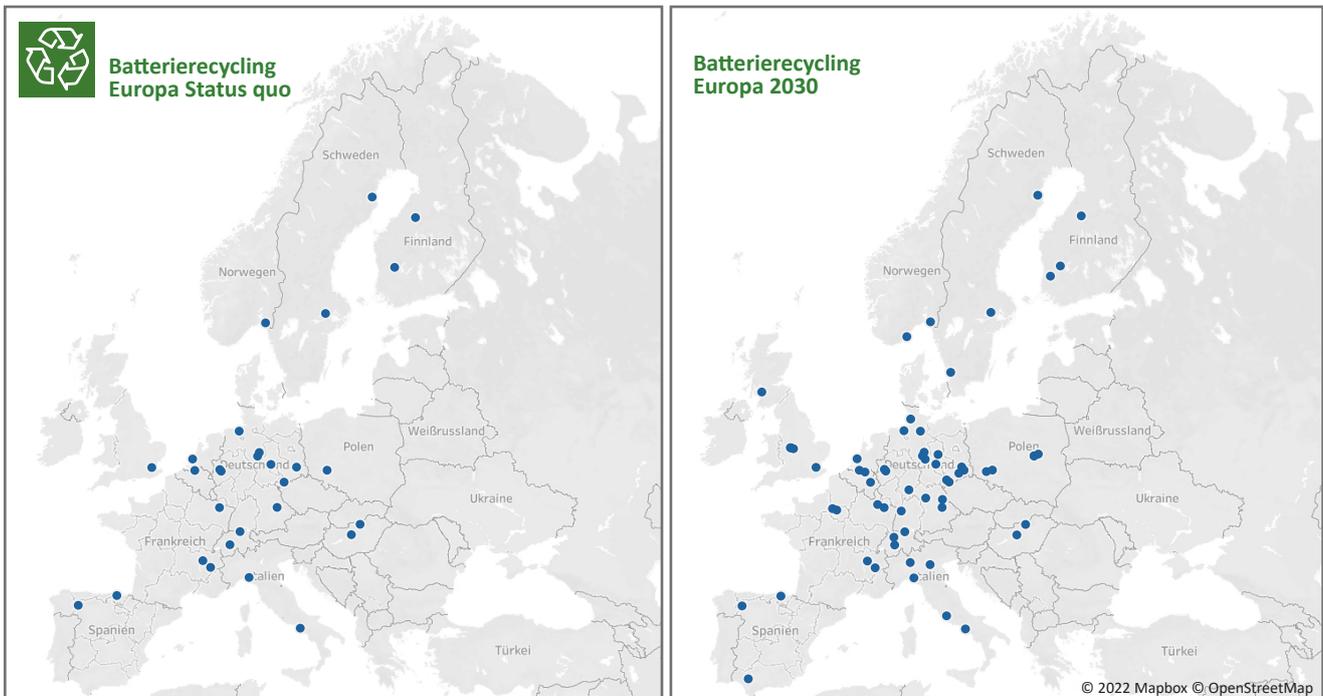


Abbildung 21: Batterierecycling im Betrachtungsraum; bestehende Fabriken (links) sowie ergänzt um bis zum Jahr 2030 angekündigte Fabriken (rechts). Eigene Darstellung.

50 Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe’s raw materials challenge (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

51 Circular Energy Storage- A tsunami or a drop in the ocean? (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

ben, könnten zwischen 30 und 60 GWh_{eq}/a zurückgewonnen werden. Im Vergleich zur einer möglichen Produktionskapazität von 1600 GWh/a entspräche dies etwa einem Beitrag von 2 bis 4 %.

Die bis 2030 angekündigten Standorte können über 150 GWh_{eq}/a an Altbatterien aufnehmen, so dass diese nach jetzigem Stand sehr gut gerüstet für den bis 2030 erwarteten Rücklauf sind. Aufgrund des prognostizierten starken Anstiegs in den Batteriezellfertigungskapazitäten ist davon auszugehen, dass auch der Rücklauf an ausgedienten Batterien nach 2030 stark ansteigen wird. Entsprechend könnten die bisher angekündigten Kapazitäten nach 2030 schnell ausgelastet sein.

5 RISIKEN UND MASSNAHMEN

5.1 Potenziale der Eigenversorgung

Die Versorgungsstabilität der betrachteten Batterierohstoffe wird sich trotz aller in Europa angekündigten Rohstoffprojekte verschlechtern. Der Grund dafür ist der noch stärkere Anstieg der Nachfrage, die aus der erheblichen Ausweitung der Produktionskapazitäten für Batteriezellen resultiert. Insgesamt trägt der Ausbau europäischer Förder- und Verarbeitungskapazitäten bis 2030 zwar zu einer höheren absoluten Produktion bei, eine strategische Autonomie wird dadurch aber noch nicht erreicht.

Dabei ist zu beachten das jeder Rohstoff individuelle Risiken trägt:

- **Die Verfügbarkeit von Lithium ist der Flaschenhals** für den Ramp-up der Batteriezellfertigung in Europa. Lithium ist eines der wenigen Elemente welches in modernen und leistungsfähigen Batterien schwer zu ersetzen ist. Mit voraussichtlich 88 % Marktanteil in 2030 werden Batterien der mit Abstand größte Verbraucher von Lithium sein. Würden alle in Europa angekündigten Lithiumprojekte umgesetzt, könnte Europa seinen Bedarf an Lithiumrohstoff zu ~26 % und bei der Raffination zu



Abbildung 22: Die Potenzielle Eigenversorgung Europas in der Batteriewertschöpfungskette (links) sowie die globalen Risiken (rechts) in einer Übersicht. Eigene Darstellung

~44 % decken. Diese Projekte sind wichtig, da bis 2030 ein globales Angebotsdefizit vorausgesagt wird. Die derzeit extrem hohen Spotmarktpreise sind ein Indiz dafür, dass es keinen Markt für Lithium mehr gibt. Wer keine langfristigen Lieferverträge abgeschlossen hat wird kein Lithium mehr bekommen. Jedes Lithiumprojekt in Europa wird die Mangellage bei Lithium lindern und die strategische Souveränität Europas auf diesem wichtigen Markt stärken.

- **Der Preis von Nickel** ist der größte Kostentreiber in modernen nickelreichen NMC Batteriezellen. Europa verfügt über eine Nickelindustrie, die derzeit allerdings überwiegend die Edelstahlindustrie beliefert. Neue Nickelprojekte für Batterien sind nicht in Sicht. Russland ist aus geopolitischen Gesichtspunkten kein verlässlicher Handelspartner. Indonesien als weltweit größter Nickelproduzent ist gewillt, seine Marktmacht zu nutzen – notfalls mit Exportrestriktion – um möglichst viel Wertschöpfung (z. B. pCAM, CAM und Zellfertigung) im Land zu erzielen. Sollte es Europa nicht gelingen durch strategische Partnerschaften Zugänge zu Nickel zu sichern, könnte ein strategisch und aus ESG-Sicht wichtiger Teil der Wertschöpfung der BZF außerhalb Europas Einfluss lokalisieren.
- **Der Markt für Manganpräkursor** ist klein und hoch konzentriert. Die Raffination von Manganerzen wird mit über 90 % von China dominiert. Europa verfügt über eigene Rohstoffzugänge, die allerdings für eine Eigenversorgung nicht ausreichen. Mit einem Anteil von unter 1 % wird die Lithium-Ionen-Batterie nur sehr geringe Auswirkungen auf den Rohstoffmarkt ausüben.
- **Das geopolitische Risiko beim Kobalt** bleibt hoch. Die DR Kongo bleibt der wichtigste Produzent für Kobalt und China das wichtigste Land für die Raffination. Europa verfügt nur über eine geringe Kobaltproduktion. Die europäischen Raffinerien für Kobalt werden zum großen Teil durch Importe bedient. Neue Projekte in Europa sind nicht absehbar. Europa wird auf strategische Partnerschaften angewiesen sein, um seine Bedarfe zu decken. Innovationen der letzten Jahrzehnte im Batteriebereich konnten den Kobaltgehalt in Batteriezellen deutlich reduzieren. Eine vollständige Substitution ist derzeit (mit Ausnahme von LFP) noch nicht marktreif.
- **Das geopolitische Risiko bei Graphit** bleibt hoch. Europa verfügt über eine sehr geringe Eigenversorgung. China hat eine sehr dominante Position im Graphitmarkt für Batterieanoden (nahe 100 %). Für Europa gibt es derzeit nur wenig Ankündigungen für neue Projekte. Synthetisches Graphit- günstige Standortbedingungen vorausgesetzt- könnte diese Abhängigkeit lösen und Europa mehr strategische Souveränität zurückgeben.

- **Ohne Rohstoffe, keine pCAM und CAM Produktion.** Derzeit sind keine pCAM Standorte in Europa bekannt, die bereits produzieren. Es konnten nur wenige Ankündigungen bis 2030 recherchiert werden. Gegebenenfalls wird dieser Prozessschritt bei einigen CAM Produktionsstandorten integriert. Bis 2030 könnte Europa- die Zugänge zu Rohstoffen vorausgesetzt- 27 % seine Kathodenmaterialien selber herstellen.
- **Zellherstellung und Recycling gesichert?** Alle angekündigten Recyclingprojekte würden ausreichen, um den Bedarf in 2030 in Europa zu 100 % zu decken. Gleichzeitig wird der Bedarf erst nach 2030 besonders stark ansteigen. Ob alle diese Projekte auch unter den neuen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen umgesetzt werden können, bleibt ungewiss.

5.2 Maßnahmen

Um die angestrebten Ausbau der europäischen Batterieproduktion bis 2030 und darüber hinaus nicht zu gefährden, bedarf es robuster Lieferketten. Insbesondere der Zugang zu Batterierohstoffen aus primären und sekundären Quellen muss gesichert werden. Handelsrestriktionen bei strategisch wichtigen Rohstoffen müssen in der unternehmerischen Risikobetrachtung zukünftig stärker mitbedacht werden.

Die Erfahrungen aus den jüngsten globalen Störungen in den Lieferketten, etwa in Folge der COVID-19 Pandemie, führen zu den nachfolgend diskutierten Schlussfolgerungen zur Gestaltung stabiler Lieferketten für die Versorgung mit Batterierohstoffen.

Zur Einordnung ist der Begriff der Resilienz einer Lieferkette hilfreich. Damit wird die Reaktionsfähigkeit einer Lieferkette auf exogene und abrupte Störungen bezeichnet. Durch diese Einordnung können die Auswirkungen von Störungen verschiedener Art (z. B. Pandemie, militärischer Konflikt, politische Krise, Blockierung eines Transportwegs) vergleichbar gemacht und verallgemeinerbare Schlussfolgerungen zur Verbesserung der Resilienz gezogen werden. Die Resilienz in Rohstoff-Lieferketten ist der Herausforderung ausgesetzt, dass technologische Innovationen zu einem Anstieg der Nachfrage führen können, aufgrund der begrenzten geologischen Verfügbarkeit die Anpassung des Angebots auf den Rohstoffmärkten aber erst zeitversetzt erfolgen kann.⁵²

52 https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-52.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

Folgende Faktoren tragen typischerweise zu einer hohen Lieferkettenresilienz bei:⁵³

1. **Robustheit:** Hierunter werden Faktoren zusammengefasst, die ein geringeres Absinken der Lieferketten-Performance und eine potenziell hohe Performance am Ende der Krise ermöglichen, etwa durch Standardisierung von Prozessen und redundante Kapazitäten.
2. **Agilität:** Reaktionsfähigkeit und Flexibilität ermöglicht eine schnelle Krisenbewältigung. Dazu tragen zum Beispiel Transparenzmaßnahmen, Monitoring und systematisches Risikomanagement bei, aber auch Dezentralität der Produktions- und Lagerstandorte.
3. **Indirekte Faktoren:** Befinden sich die Akteure in einem permanenten Lernprozess und besteht eine moderne Unternehmenskultur, profitiert die Resilienz davon ebenfalls.

Anhand einer Untersuchung mehrerer Wirtschaftsbranchen können daraus vier zentrale Handlungsfelder abgeleitet und entlang der Ergebnisse der obigen Risikoanalyse mit Maßnahmenvorschlägen für die Verbesserung der Resilienz der

Lieferketten für Batterierohstoffe unterlegt werden (Abbildung 23):⁵⁴

1. **Digitalisierung und Transparenz herstellen:** Die Agilität der Lieferkette profitiert von der Verfügbarkeit von Informationen zwischen Marktteilnehmern auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfung. Die Digitalisierung bietet dafür eine Chance, etwa durch Einführung standardisierter digitaler Produktpässe für Rohstoffe, Zwischenprodukte und Batterien. Hohe gemeinsame Standards in der IT-Sicherheit und im Informationsrechtmanagement trägt zum gegenseitigen Vertrauen der Akteure bei, um ein Monitoring und eine Informationsweitergabe zu Lieferströmen in Echtzeit zu ermöglichen.
2. **Lieferketten diversifizieren, Recycling verbessern:** Aktivitäten zur Erschließung neuer Produktionsstandorte (Multi-sourcing) bzw. zusätzlicher Lieferanten und Lagerstandorte, aber auch Maßnahmen zur Flexibilisierung von Produktionsverfahren, um die Abhängigkeit von speziellen Zwischenprodukten zu vermindern, stärken sowohl Agilität als auch Robustheit der Lieferketten. Eine höhere Produktvielfalt insbesondere bei den Zellchemien, natürlicher Graphit vs. synthetischer

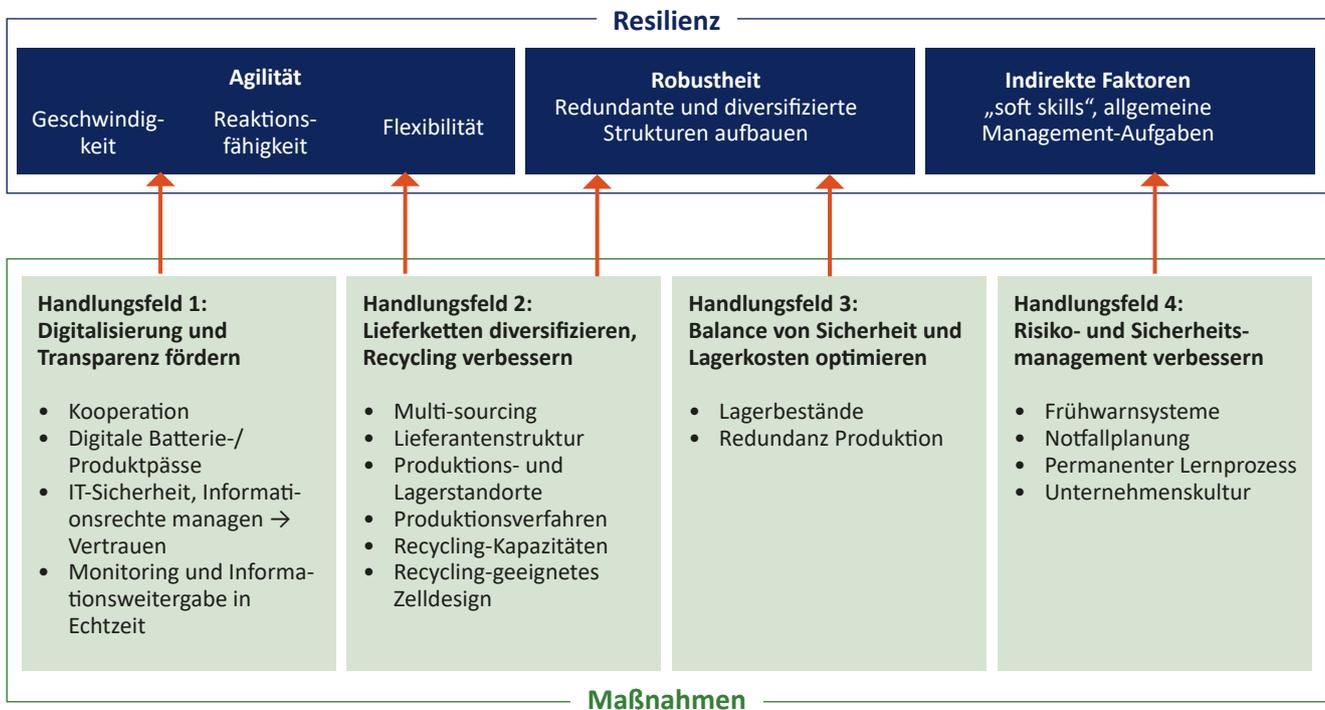


Abbildung 23: Erfolgsfaktoren für Lieferkettenresilienz und daraus abgeleitete Maßnahmenvorschläge. Pfeile stellen die Wirkung von Maßnahmen auf die einzelnen Dimensionen der Resilienz dar. Eigene Darstellung in Anlehnung an Schmidt (2021), <https://opus4.kobv.de/opus>

53 https://opus4.kobv.de/opus4-th-wildau/files/1597/Schmidt_2021_Resilienz_Corona_Pharma_Automobil.pdf (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

54 https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-66057-7_8.pdf?pdf=inline%20link (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

Graphit sowie NCM vs. LFP kann ebenfalls das Ausfallrisiko reduzieren. Recycling trägt schon heute zunehmend zur Entspannung der Angebotsituation bei⁵⁵ und kann im Sinne einer konsequenten Kreislaufwirtschaft den Zuwachs des künftigen Rohstoffbedarfs abmildern. Ab dem Jahr 2030 ist mit einem steigenden Rücklauf an Ausgedienten Traktionsbatterien zu rechnen, so dass die Voraussetzungen für effiziente Recyclingprozesse (z. B. recyclingfähiges Zelldesign, Verarbeitungskapazitäten) bereits heute geschaffen werden sollten.

3. Gleichgewicht Liefersicherheit – Lagerkosten schaffen:

Dem Vorschlag, in Lieferketten Pufferkapazitäten für wichtige Vorprodukte vorzuhalten, wird häufig das Argument hoher Kosten bzw. „toten Kapitals“ durch Lagerung teurer Stoffe entgegengehalten. Es kommt daher darauf an, eine unternehmerische Balance zwischen den Lagerkosten und einer Kostenschätzung der Auswirkungen einer Lieferkettenstörung herzustellen.

4. Konsequentes Risiko- und Sicherheitsmanagement implementieren:

Frühwarnsysteme und Notfallpläne für Reaktion auf akute Störungen zu implementieren, aber auch ein permanenter Lernprozess und eine offene, diverse Kultur in Unternehmen stärken die Resilienz auf indirektem Weg. In den letzten Jahren (auch aufgrund der jüngsten globalen Krisensituationen wie der COVID-19 Pandemie) sind hierzu bereits Fortschritte erzielt worden. Ein Beispiel dafür ist die Nutzung digitaler Meetings und räumlicher Flexibilität in der Arbeitswelt auch nach Ende der Pandemie-bedingten Lockdowns. Dennoch ist das Potenzial dieser Maßnahmen noch nicht ausgeschöpft.

Hersteller ergreifen Maßnahmen zur Rohstoffsicherung

Auf Seiten der Hersteller von Batteriezellen und -komponenten zeichnet sich bereits ab, dass Maßnahmen zur Rohstoffsicherung ergriffen werden: Laut einer Studie⁵⁶ von PwC im Auftrag der DERA sind die meistgenutzten Maßnahmen derzeit

- die Diversifizierung der Lieferanten,
- verstärkte Bemühungen zum Abschluss langfristiger Lieferverträge und
- die Verbesserung von Business-Tools in der Beschaffungsplanung.

Bei der Diversifizierung der Lieferanten gilt es, unternehmerisch zwischen einerseits verhältnismäßig risikoarmen und dafür tendenziell teureren Bezugsmöglichkeiten (z. B. an neu aufgebauten europäischen Standorten), andererseits, aber

stärker risikobehafteten Quellen abzuwägen. Dabei bietet sich eine Mischung aus beiden Strategien an, indem etwa der reguläre Produktionsdurchsatz durch kostengünstigen Rohstoffbezug aus einem Land mit hohem Länderrisiko bedient, aber zur Aufrechterhaltung einer Mindestproduktionsmenge eine weitere Bezugsoption vorgehalten wird. Eine solche Kombination lässt sich in den derzeitigen Trend zur „Glokalisierung“ der Wirtschaft einordnen.

Das Potenzial für Recycling und weitere Steigerungen der Materialeffizienz sind bisher weniger umfassend genutzt. Gründe dafür sind unter anderem:

- Der Rücklauf an ausgedienten Traktionsbatterien nimmt in derzeitigen Prognosen erst ab 2030 deutlich zu. Bis dahin kann Recycling keinen großen Beitrag zur Senkung des Rohstoffbedarfs leisten. (Das Recycling im Sinne einer konsequenten Kreislaufwirtschaft dennoch auch schon heute sinnvoll ist, wird dadurch nicht in Frage gestellt.)
- Rücklaufquoten unter 100 % für ausgediente Traktionsbatterien und ein nicht auf ein späteres Recycling vorbereitetes Zelldesign setzen dem Beitrag des Recyclings zusätzliche Grenzen. Die Umsetzung von „recycling-readiness“ im Zelldesign und eine konsequente Durchsetzung der EU-Recyclingzielquoten sind daher naheliegende ergänzende Maßnahmen.

Die Auswirkungen des Trends zu langfristigen Lieferverträgen (bzw. der Umfang, in dem der Bedarf für einzelne Rohstoffe bereits durch Verträge einer bestimmten Laufzeit abgedeckt wird) lässt sich derzeit noch nicht belastbar einschätzen. Einzelne Mitteilungen von Unternehmen über den Abschluss eines besonders umfangreichen, langfristigen Liefervertrags deuten auf gestiegenes Problembewusstsein der Unternehmen hin, ermöglichen aber kein umfassendes Bild.

Weitere vorgeschlagene Maßnahmen verwenden die Rohstoffpreise als Ansatzpunkt: Eine mögliche Reaktion auf die Verknappung eines Rohstoffes ist die Weitergabe steigender Preise entlang der Lieferkette bis zum Endkunden. Preissignale haben in der Marktwirtschaft steuernde Wirkung. Auch bei einer plötzlich auftretenden Angebotsverknappung innerhalb kurzer Zeit, etwa aufgrund einer politischen Krise oder eines militärischen Konflikts, können Unternehmen den kurzfristigen Preisanstieg ganz oder teilweise an die Kunden weitergeben. Allerdings werden Risiken für die Gesamtlieferkette dadurch kaum vermindert, da auf Seiten der Abnehmer im Allgemeinen eine effiziente Reaktion auf den Preisein-

55 https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-52.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

56 https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-52.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

stieg, z. B. durch Substitution des Produktes, nicht kurzfristig erfolgen kann. Ein plötzlicher Preisanstieg kann sich also durch die ganze weitere Lieferkette als Störung auswirken (Der Anstieg der Erdgaspreise im Verlauf des Jahres 2022 ist dafür ein Beispiel: Die Endkunden können ihren Verbrauch in engen Grenzen reduzieren, aber nicht kurzfristig auf eine andere Wärmeversorgung wechseln. Die plötzliche Knappheit hat also kurzfristig nur eine stark begrenzte Steuerungswirkung zur Substitution des Energieträgers.).

Eine Stabilisierung der Gesamtkette bei kurzfristigen Schocks lässt sich eher durch eine Dämpfung oder Verzögerung in der Weitergabe der Preissignale erreichen. Dafür bieten sich Finanzmarktinstrumente zur Absicherung gegen Preisänderungsrisiken an (sogenanntes Commodity Price Hedging). Aus Sicht der Gesamtkette wirken sie damit wie eine Versicherung gegen plötzliche Knappheit und damit verbundene Preisausschläge.

Auf nationaler Ebene stehen eine Reihe von staatlichen Instrumenten zur Verfügung, um Lieferkettenrisiken in der Batteriewertschöpfungskette zu reduzieren.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 1:** Übersichtsgrafik Lieferketten der Batteriezellfertigung; betrachteten Zwischenprodukte in der Wertschöpfungskette vom Rohstoff über Raffinate und Zwischenprodukte bis hin zum Präkursor-Material, den Ausgangsstoffen für die Batteriezellfertigung. Das Diagramm im Zentrum zeigt die Materialbestandteile einer Beispielbatterie zelle entsprechend ihrer Gewichtsanteile (*eigene Annahmen). Eigene Darstellung..... 8
- Abbildung 2:** Sankey-Diagramm zum Rohstoff Lithium mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 85,8 kt-Inhalt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (Australien 41,2 kt-Inh., Chile 23,2 kt-Inh., China 13,7 kt-Inh., Argentinien 6 kt-Inh.) und (rechts) die Raffination (China 49,8 kt-Inh., Chile 24,9 kt-Inh., Argentinien 8,6 kt-Inh.) anteilig nach Ländern. Eigene Darstellung..... 21
- Abbildung 3:** Auswahl relevanter Lithiumproduzenten und deren Produktionskapazität im Jahr 2020. Eigene Darstellung.... 21
- Abbildung 4:** Sankey-Diagramm zum Rohstoff Nickel mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 2.580 kt-Inhalt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (Indonesien 851,4 kt-Inh., Philippinen 335,4 kt-Inh., Russische Föderation 232,2 kt-Inh., Neukaledonien 206,4 kt-Inh.) und (rechts) die Raffination (China 748,2 kt-Inh., Indonesien 654 kt-Inh., Russische Föderation 180,6 kt-Inh., Japan 180,6 kt-Inh.) anteilig nach Ländern. Eigene Darstellung..... 22
- Abbildung 5:** Auswahl relevanter Nickelproduzenten und deren Produktionsmengen im Jahr 2021. Eigene Darstellung..... 22
- Abbildung 6:** Sankey-Diagramm zum Rohstoff Mangan mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 47.500 kt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (Südafrika 15.200 kt, Gabun 7.600 kt, China 6.175 kt, Australien 4750 kt) und (rechts) die Raffination (China 44.175 kt) anteilig nach Ländern. Eigene Darstellung..... 23
- Abbildung 7:** Auswahl relevanter Manganproduzenten und deren Produktionskapazitäten. Eigene Darstellung..... 23
- Abbildung 8:** Sankey-Diagramm zum Rohstoff Kobalt mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 148 kt-Inhalt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (Demokratische Republik Kongo 97,7 kt-Inh., Russische Föderation, Australien und Kuba je 5,9 kt-Inh.) und (rechts) die Raffination (China 96,2 kt-Inh., Finnland 17,8 kt-Inh., Belgien und Kanada je 7,4 kt-Inh.) anteilig nach Ländern. Dunkel eingefärbte Bereiche zeigt Verarbeitung im Betrachtungsraum. Eigene Darstellung. . 24
- Abbildung 9:** Auswahl relevanter Kobaltproduzenten und deren Produktionsvolumina im Jahr 2021. Eigene Darstellung..... 24
- Abbildung 10:** Sankey-Diagramm zum Rohstoff Graphit mit einer Gesamtfördermenge im Jahr 2020 von 959 kt. Dargestellt ist (links) die globale Förderung (China 652,1 kt, Brasilien 95,9 kt, Madagaskar 48 kt) und (rechts) die Raffination (China 959 kt) anteilig nach Ländern. Eigene Darstellung. 25
- Abbildung 11:** Auswahl relevanter AAM Produzenten und deren Produktionskapazität im Jahr 2020. Eigene Darstellung. 25
- Abbildung 12:** Betrachtete Wertschöpfungsstufen und Rohstoffströme sowie Darstellung der potentiellen europäischen Eigenversorgung. Eigene Darstellung. 26
- Abbildung 13:** Kartendarstellung aller recherchierter Rohstoff und Material Projekte in Europa für diese Studie (Stand: Dezember 2022)..... 29
- Abbildung 14:** Verortung der Handelsvolumina von Lithiumkarbonat (blau, HS 283691) und Lithiumoxid/-hydroxid (grün, HS 282520) anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und dem Herfindahl-Hirschman-Index (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Lithiumcarbonat (144 kt) und Lithiumoxid/-hydroxid (88 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Lithiumcarbonat (17,5 kt) und Lithiumoxid/-hydroxid (3,5 kt). Eigene Darstellung. 33
- Abbildung 15:** Verortung der Handelsvolumina von Nickelsulfat (blau, HS 283324), Rohnickel (grün, HS 750210), Nickelpulver (hellblau, HS 750400) und Nickelmatte (grau, HS 750110) anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und des Herfindahl-Hirschman-Indizes (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Nickelsulfat (169 kt), Nickel roh (477 kt), Nickel Pulver (49 kt), Nickelmatte (431 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Nickelsulfat (0,85 kt), Nickel roh (97 kt), Nickel Pulver (2,7 kt), Nickelmatte (273 kt). Eigene Darstellung. 34

Abbildung 16: Verortung der Handelsvolumina von „Mangan und Waren daraus“ (blau, HS 811100) und Mangandioxid (grün, HS 282010) anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und dem Herfindahl-Hirschman-Index (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Mangan und Waren daraus (444 kt), Mangandioxid (196 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Mangan und Waren daraus (90 kt), Mangandioxid (9,5 kt). Eigene Darstellung. 35

Abbildung 17: Verortung der Handelsvolumina von Kobaltoxid/-hydroxid (blau, HS 810520) und Kobaltpulver (grün, HS 282200) anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und dem Herfindahl-Hirschman-Index (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Kobaltpulver (353 kt), Kobaltoxid/-hydroxid (28 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Kobaltpulver (14,5 kt), Kobaltoxid/-hydroxid (1,4 kt). Eigene Darstellung. 36

Abbildung 18: Verortung der Handelsvolumina von Graphit – natürlich Pulver und Flocken (blau, HS 250410), natürlich ohne Pulver und Flocken (grün, HS 250490) und künstlich (türkis, HS 380110) – anhand ihres gewichteten Länderrisikos (X-Achse) und des Herfindahl-Hirschman-Indizes (Y-Achse). Schraffierte Kreise: Welthandelsvolumen Graphit natürlich HS 250410 (347 kt), Graphit natürlich HS 250490 (284 kt), Graphit künstlich (793 kt); vollfarbige Kreise: Import in den Betrachtungsraum Graphit natürlich HS 250410 (69 kt), Graphit natürlich HS 250490 (0,3 kt), Graphit künstlich (90,6 kt). Eigene Darstellung. 37

Abbildung 19: Komponentenfertigung im Betrachtungsraum: bestehende Fabriken (links) sowie ergänzt um bis 2030 angekündigte Fabriken (rechts). Eigene Darstellung. 38

Abbildung 20: Batteriezellfertigung im Betrachtungsraum; bestehende Fabriken (links) sowie ergänzt um bis 2030 angekündigte Fabriken (rechts). Eigene Darstellung. 39

Abbildung 21: Batterierecycling im Betrachtungsraum; bestehende Fabriken (links) sowie ergänzt um bis zum Jahr 2030 angekündigte Fabriken (rechts). Eigene Darstellung. 40

Abbildung 22: Die Potenzielle Eigenversorgung Europas in der Batteriewertschöpfungskette (links) sowie die globalen Risiken (rechts) in einer Übersicht. Eigene Darstellung. 42

Abbildung 23: Erfolgsfaktoren für Lieferkettenresilienz und daraus abgeleitete Maßnahmenvorschläge. Pfeile stellen die Wirkung von Maßnahmen auf die einzelnen Dimensionen der Resilienz dar. Eigene Darstellung in Anlehnung an Schmidt (2021), <https://opus4.kobv.de/opu> 44

Abbildung 24: Visualisierung zur Bewertung von Risikogruppen 51

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Kernerkenntnisse. Eigene Darstellung. 33

Tabelle 2: Rohstoffinhalt pro Kilowattstunde für drei unterschiedliche Materialklassen 52

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AAM	Anodenaktivmaterial (engl.: Anode Active Material)
BEV	Battery Electric Vehicle (dt.: batterie-elektrisches betriebenes Fahrzeug)
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland
CAM	Kathodenaktivmaterial (engl.: Cathode Active Material)
DERA	Deutsche Rohstoff Agentur
EMM	Elektrolytisches Manganmetall
EMM	Electrolytic Manganese Metal
EU KOM	Europäische Kommission
EV	Elektrofahrzeug
FCEV	Fuel-Cell Electric Vehicle
GLR	Gewichtetes Länderrisiko
GWh _{eg/a}	Gigawatt hour equivalent per year
HHI	Herfindahl-Hirschman-Index
LCE	Lithium Carbonat Equivalent
LF(M)P	Lithium Eisen (Mangan) Phosphate
LIB	Lithium-Ionen-Batterie
LMO	Lithium-Mangan-Oxid
MHP	Mixed Hydroxide Precipitate
MSM	Mangansulfat Monohydrat
MSM	Manganes sulfate monohydrate
MSP	Mixed Sulphide Precipitate
NCA	Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid
NEV	New Electric Vehicle
NMC	Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid
OEM	Original Equipment Manufacturer
pCAM	Präkursor für Kathodenaktivmaterial
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
AAM	Anodenaktivmaterial

GLOSSAR

Commodity Price Hedging

Einsatz von Finanzprodukten, um finanziellen Risiken wie steigenden Rohstoffpreisen entgegenzuwirken.

EFTA-Mitgliedstaaten

European Free Trade Association (deutsch: Europäische Freihandelsassoziation)

Gigafactories

Bezeichnung für Produktionsstandorte, die jährlich Batteriezellen im Gigawattstundenmaßstab produzieren

Glokalisierung

Kunstwort aus Globalisierung und Lokalisierung.

Hardrock

Hartgestein. Im Zusammenhang mit Lithium als Sammelbegriff für Lithium-haltige Erze verwendet.

NMC 622-Zellen

Eine Lithium-Ionen-Batterie welche als Kathodenmaterial NMC mit einem Nickel zu Mangan zu Kobalt Verhältnis 60:20:20 verwendet.

NMC-811-Kathoden

Eine Lithium-Ionen-Batterie welche als Kathodenmaterial NMC mit einem Nickel zu Mangan zu Kobalt Verhältnis 80:10:10 verwendet.

pCAM

Präkursor für Kathodenaktivmaterial (Precursor Cathode Active Material) ist ein Vormaterial für die Herstellung von Kathodenaktivmaterial (CAM). Im pCAM liegen Nickel, Kobalt und Mangan im gewünschten stöchiometrischen Verhältnis für die CAM Fertigung vor.

Raffinaden Produktion

Bezeichnet ein technisches Verfahren bei dem ein Rohstoff gereinigt, veredelt oder weiterverarbeitet wird.

Reserven

Unter Reserven versteht man die Menge eines Rohstoffes, welche erschlossen und mit dem Stand-der-Technik gefördert werden kann. Die technische und wirtschaftliche Gewinnung wurde nachgewiesen.

Ressourcen

Unter Ressourcen versteht man die Mengen eines Rohstoffes, die prinzipiell gegeben bzw. nachgewiesen sind aber noch nicht erschlossen wurden. Die technische und wirtschaftliche Gewinnung wurde noch nicht nachgewiesen.

Rohstoffe

Unter Rohstoffe versteht man geförderte/abgebaute Reserven (unverarbeitet) welche für ein Produktionsprozess benötigt werden.

ANHANG

Gewichtetes Länderrisiko (GLR):

Das Länderrisiko (engl. World Governance Indicators) besteht aus sechs Dimensionen, welche aus über 30 Einzelindikatoren zusammengesetzt sind. Diese zeigen die Wahrnehmung der Qualität von Regierungen an und basiert auf einer großen Zahl von Umfrageergebnissen.⁵⁷ Die Daten werden seit 1996 erhoben und von der Weltbank zur Verfügung gestellt.⁵⁸ Das Länderrisiko eines einzelnen Landes ist der Mittelwert aus den sechs Dimensionen. Ein gewichtetes Länderrisiko (z.B. für eine Warengruppe) ergibt sich aus dem Mittelwert aus dem Produkt von Länderrisiko und Anteil des Landes am Handel. Ob gewichtet oder ungewichtet, Länderisikowerte sind im Bereich vom -2,5 bis +2,5 zu finden und werden in fünf Bewertungskategorien eingeteilt (-2,5 bis -1,5 sehr hoch, >-1,5 bis -0,5 hoch, >-0,5 bis +0,5 mäßig, > +0,5 bis +1,5 gering, > +1,5 bis +2,5 sehr gering).

Herfindahl-Hirschman-Index (HHI):

Dieser Indikator beschreibt die Länderkonzentration. Dazu wird die Quadratsumme aller beteiligten Anteile (in Prozent) gebildet. Der Herfindahl-Hirschman-Index kann somit Werte von 0 bis 10.000 einnehmen. Zur Bewertung werden drei Kategorien gebildet: 0 bis < 1.500 gering, 1500 bis < 2.500 mäßig und ab 2.500 hoch. Dieser Indikator zur Länderkonzentration geht auf Albert O. Hirschman (1945) und Orrin Herfindahl (1950) zurück.

Bewertung von Risikogruppen

Aus der gemeinsamen Auftragung von Länderkonzentration (HHI) und Länderrisiko (LR) kann eine Kategorisierung in fünf Risikogruppen vorgenommen werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt das dafür erstellte Risikoportfolio mit je drei Bereichen für HHI und LR. Im HHI wurden die geringe und mäßige Länderkonzentration zusammengefasst und eine Hilfslinie zur Unterteilung der hohen Länderkonzentration bei HHI gleich 6.500 (entspricht > 80 % Länderkonzentration einer Partei) erstellt.

Handelsdaten

Sämtliche Handelsdaten wurden in der Datenbank Trademap⁵⁹ recherchiert. Für die in dieser Studie betrachteten Elemente Lithium, Nickel, Mangan, Kobalt und Graphit wurden ausgehend von deren Förderländern (siehe Kap. 3) Handelsmengen beginnend beim Rohstoff (Erze) zu Raffinationspro-

dukten nachvollzogen. Z. B. Land A fördert den Stoff X und exportiert diesen als Erz an Land B und C. Für die Raffinationsprodukte wurden dann Handelsmengen aus Land A, B und C recherchiert. Stellten die Raffinationsprodukte potentielle Zwischenprodukte zur Weiterverarbeitung dar, wurde das gleiche Vorgehen zur Recherche der Handelsdaten genutzt.

Alle recherchierten Handelsdaten sind sogenannte „Spiegel­daten“ (engl. mirror data). Auf diese Weise können sogenannte „Handelsdateneffekte“ durch größere Seehäfen (wie z. B. Rotterdam in Europa) umgangen werden, da die Waren oft weitertransportiert werden. Z. B. meldet Brasilien den Export von Ware XY nach Niederlande (in dem Fall per Schiff nach Rotterdam), wodurch die Niederlande im globalen Handel als überproportional großer Importeur gelistet werden. Die Ware wird jedoch z. B. zu seinem Bestimmungsort in Deutschland weitertransportiert. Aufgrund der Zollunion sind diese Handelsdaten nicht immer zugänglich/gemeldet. Im Sinne der „Spiegel­daten“ würde jedoch der Importeur in Deutschland den Erhalt der Ware XY aus Brasilien an die zuständigen Behörden melden.

Im Sinne der Datenrecherche in der Datenbank Trademap wurden also Daten identifiziert mit der Frage: „Welches Land hat aus Land A den Stoff X importiert“. Damit kann mit demselben Datensatz festgestellt werden, wer den Stoff X importiert und wer den Stoff X exportiert hat. Import- und

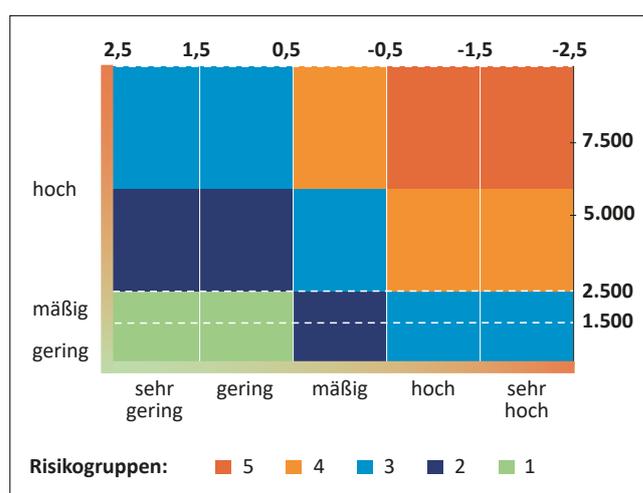


Abbildung 24: Visualisierung zur Bewertung von Risikogruppen

57 The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues by Daniel Kaufmann, Aart Kraay, Massimo Mastruzzi: SSRN [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1682130] (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

58 <http://info.worldbank.org/governance/wgi/> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

59 www.trademap.org (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

Exportmengen wurden dann entsprechend für jedes beteiligte Land aufsummiert. Für den Import in den Betrachtungsraum wurden lediglich die Mengen für die Länder im Betrachtungsraum aufsummiert.

Allgemein sei zu Handelsdaten zu erwähnen, dass trotz aller Sorgfalt der Recherche Ungewissheiten bleiben. Die Daten der Trademap-Datenbank beruhen auf der internationalen Handelsdatenbank Comtrade⁶⁰ und Trademap's eigenen Recherchen in nationalen Zoll Datenbanken. Dennoch ist es möglich, dass Handelsdaten nicht registriert sind. Dies kann u. a. bei Handel zwischen Staaten in Zoll- oder Handelsunionen vorkommen und auch, wenn der Handel mit bestimmten Warengruppen aus nationalen Gründen nicht offengelegt werden soll.

Berechnung GWh_{eq}

In Tabelle 2 ist dargestellt, wieviel Kilogramm Lithium, Nickel, Mangan und Kobalt zur Herstellung von 1 kWh_{eq} NMC-622 und 1 kWh_{eq} NMC-811 benötigt werden. Durch Multiplikation mit dem Faktor 10^6 können die kWh_{eq} in GWh_{eq} umgerechnet werden.

Für das Vormaterial wurden folgende Annahmen getroffen:

- 1 kg Li_2CO_3 enthält 0,19 kg Li
- 1 kg $LiHO \cdot H_2O$ enthält 0,17 kg Li
- 1 kg $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ enthält 0,22 kg Ni
- 1 kg $MnSO_4 \cdot H_2O$ enthält 0,33 kg Mn
- 1 kg $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ enthält 0,21 kg Co

Tabelle 2: Rohstoffinhalt pro Kilowattstunde für drei unterschiedliche Materialklassen.

Material	Li Inhalt [kg/kWh]	Ni Inhalt [kg/kWh]	Mn Inhalt [kg/kWh]	Co Inhalt [kg/kWh]	C Inhalt [kg/kWh]
NMC-622	0,11	0,55	0,17	0,18	-
NMC-811	0,10	0,66	0,08	0,08	-
AAM (Graphit)					0,88

60 <https://comtrade.un.org/data> (Letzter Zugriff: 12.12.2022)

