

33

DERA Rohstoffinformationen



Rohstoffrisikobewertung – Lithium

Impressum

Editor: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
dera@bgr.de
www.deutsche-rohstoffagentur.de

Autor: Michael Schmidt

Datenstand: 2015

Titelbilder: © BGR
© Cigdem-Fotolia.com

Zitierhinweis: Schmidt, M. (2017): Rohstoffrisikobewertung – Lithium.
– DERA Rohstoffinformationen 33: Berlin.

Berlin, 2017



DERA Rohstoffinformationen

Rohstoffrisikobewertung – Lithium



Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	7
Executive Summary	9
Zusammenfassung	12
1 Rohstoff Lithium	15
1.1 Einführung	15
1.2 Gewinnung und Verarbeitung	19
1.3 Verwendung	25
2 Risikobewertung	35
2.1 Datenbasis	35
2.2 Preisentwicklung und -risiken	36
2.2.1 Preisdaten	36
2.2.1.1 Preisdaten basierend auf Handelsdaten	38
2.3 Angebot und Nachfrage	43
2.3.1 Angebot	43
2.3.1.1 Bergwerksförderung Lithium	43
2.3.1.2 Produktionskosten	46
2.3.1.3 Weiterverarbeitende Produktion	50
2.3.1.4 Lagerhaltung	51
2.3.1.5 Recycling	51
2.3.2 Nachfrage	54
2.3.3 Derzeitige Marktdeckung	58
2.3.4 Handel	59
2.3.4.1 Nettoexporte	59
2.4 Geopolitische Risiken und Marktmacht	64
2.4.1 Bergwerksförderung	64
2.4.2 Weiterverarbeitung	66
2.4.3 Globaler Handel	67
2.4.3.1 Importe Deutschlands	69
2.4.4 Firmenkonzentration	73
2.5 Angebots- und Nachfragetrends	80
2.5.1 Vorräte	80
2.5.2 Call for Lithium (Chile Invest)	82
2.5.3 Potenziale in Bolivien	84
2.5.4 Zukünftiges Angebot	85
2.5.5 Zukünftige Nachfrage	99
2.5.5.1 Zukünftige Nachfrage wichtiger Anwendungsgebiete	100
2.5.6 Zukünftige Marktdeckung	108
2.5.6.1 HHI und GLR des zukünftigen Angebots	113
3 Literaturverzeichnis	114
4 Anhang	121
Indikatoren und Risikobewertung für Lithium	122
Glossar	131
Internationaler Handel (Nettoexporte)	133

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Lithium-haltige heiße Quellen (Salar des tres Quebradas, Argentinien).	18
Abb. 2:	Vereinfachtes Produktionsschema von Lithium und wichtigen Lithiumverbindungen.	19
Abb. 3:	Flussdiagramm zur Produktion von Lithiumkarbonat (Li_2CO_3) aus Spodumen-Konzentraten mittels Acid-Roast-Prozess.	20
Abb. 4:	Hybridverfahren zur Gewinnung von Lithiumkarbonat (Li_2CO_3) mittels scCO_2 -Aufschluss aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien (z. B. thermisch behandeltem Zinnwaldit (β -Spodumen)).	21
Abb. 5:	Solarevaporationsbecken der Firma Albemarle (ROCKWOOD LITHIUM Ltda.) im Salar de Atacama (Chile).	22
Abb. 6:	Flussdiagramm zur Produktion von Lithiumkarbonat aus Lithium-haltigen Solen (Beispiel: Albemarle Chile).	24
Abb. 7:	Lithiumkarbonat der Firma Albemarle aus der Anlage La Negra.	24
Abb. 8:	Verwendungsgebiete von Lithium.	25
Abb. 9:	Schematischer Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie.	26
Abb. 10:	Anteile der genutzten Kathodenmaterialien in LIB im Jahr 2015.	27
Abb. 11:	Anteile der genutzten Anodenmaterialien 2015 in LIB.	29
Abb. 12:	Pouch-Lithium-Ionen-Zelle mit einer Kapazität von 4.000 mA.	30
Abb. 13:	Glascerankochfeld.	32
Abb. 14:	Lithium-enthaltender Schmierstoff.	33
Abb. 15:	Entwicklung der Nominal- und Realpreise für Lithiumkarbonat (01/1999–02/2017). Daten sind mit CPI (\emptyset 2016 = 100) deflationiert.	37
Abb. 16:	Entwicklung des Nominalpreises für Lithiumhydroxid (06/2015–05/2017).	38
Abb. 17:	Entwicklung der Realpreise für Spodumen-Konzentrate (04/2015–03/2017), Daten sind mit CPI (\emptyset 2016 = 100) deflationiert.	38
Abb. 18:	Preisentwicklung von Lithiumkarbonatimporten (Technical Grade, Battery Grade) für den Zeitraum 2000–2016 basierend auf Handelsdaten (Jahresdurchschnittspreise).	40
Abb. 19:	Entwicklung der chinesischen Exportpreise (Jahresdurchschnitt) von Lithiumkarbonat für den Zeitraum 1995–2016 basierend auf Handelsdaten.	40
Abb. 20:	Preisentwicklung von Lithiumhydroxid (Technical Grade, Battery Grade) für den Zeitraum 2000–2016 basierend auf Handelsdaten (Jahresdurchschnittspreise).	41
Abb. 21:	Entwicklung der chinesischen Exportpreise von Lithiumhydroxid für den Zeitraum 1995–2016 basierend auf Handelsdaten (Jahresdurchschnittspreise).	41
Abb. 22:	Vergleich der Preisentwicklung von Spodumen-Konzentraten (Import/Export) für den Zeitraum 1995–2016 basierend auf Handelsdaten der Länder Australien und China (Jahresdurchschnittspreise).	42
Abb. 23:	Historische Jahresvolatilität für die Monatsdurchschnittspreise von Lithiumkarbonat (Lithium-Carbonate, min. 99–99.5 % Li_2CO_3 , large contracts, USA, delivered continental).	42
Abb. 24:	Entwicklung der Bergwerksförderung von Lithium zwischen 1960 und 2015.	44
Abb. 25:	Jährliches Wachstum der Bergwerksförderung von Lithium im Vergleich zum Realpreis von Lithiumkarbonat für den Zeitraum 1960–2015.	45
Abb. 26:	Entwicklung der Bergwerksförderung von Lithium der Länder Australien und Chile im Vergleich zu der übrigen Welt zwischen 1960 und 2015.	46
Abb. 27:	Vergleich der Produktionskosten von Lithium-haltigen Mineral-Konzentraten 2016.	47

Abb. 28:	Vergleich der Kostenanteile für die Herstellung von Lithiumkarbonat aus Sole und aus Festgestein 2015.	48
Abb. 29:	Vergleich der SO_4/Li - und Mg/Li -Verhältnisse verschiedener Vorkommen.	49
Abb. 30:	Cash-Cost Verteilung für die wichtigsten Produzenten des Jahres 2016.	50
Abb. 31:	Schematische Übersicht möglicher Verfahrenswege des Recyclings von LIB.	52
Abb. 32:	Sortenreiner Glasbruch bei einem deutschen Recyclingunternehmen (v. l. Spiegelglas, h. l. und h. r. Lithium-haltiger Glasbruch).	54
Abb. 33:	Gesamtnachfrage nach Lithium 2015.	55
Abb. 34:	Vergleich der globalen Gesamtnachfrage nach Anwendungsbereichen im Jahr 2015.	56
Abb. 35:	Vergleich der Gesamtnachfrage nach Lithium im Jahr 2015 für den Anwendungsbereich der wiederaufladbaren Batterien in GWh.	57
Abb. 36:	Angebot und Nachfrage, Marktdeckung für Lithium: Entwicklung von Bergwerksförderung und Nachfrage ab 2005.	58
Abb. 37:	Nettoexporte von Lithiumkarbonat 2015.	60
Abb. 38:	Nettoexporte von Lithiumoxid und Lithiumhydroxid 2015.	60
Abb. 39:	Nettoexporte von Lithiumchlorid 2015.	61
Abb. 40:	Nettoexporte von Lithium-haltigen Mineral-Konzentraten 2015.	62
Abb. 41:	Nettoexporte von Spodumen-Konzentraten Australiens im Vergleich zur Bergwerksförderung Australiens 1995–2015.	62
Abb. 42:	Nettoexporte von Lithium-Ionen-Batteriezellen 2015.	63
Abb. 43:	Länder mit Förderung von Lithium im Jahr 2015 und deren aggregierter World Governance Indicator (Länderrisiko).	65
Abb. 44:	Entwicklung der Länderkonzentration und des gewichteten Länderrisikos der Bergwerksförderung für Lithium (1960–2015).	66
Abb. 45:	Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko der globalen positiven Nettoexporte im Vergleich zur Bergwerksförderung von Lithium.	68
Abb. 46:	Herkunft der deutschen Importe von Lithiumkarbonat im Jahr 2015.	70
Abb. 47:	Vergleich der Exporte von Lithiumoxid und -hydroxid nach Deutschland zu Importen Deutschlands der gleichen Warengruppe im Zeitraum 1990–2016.	71
Abb. 48:	Herkunft der deutschen Importe von Lithiumoxid und -hydroxid abgeleitet aus globalen Exporten nach Deutschland 2015.	72
Abb. 49:	Herkunft der deutschen Importe von Lithium-Ionen-Batterien 2015.	72
Abb. 50:	Gewichtetes Länderrisiko und Diversifizierung der deutschen Importe im Vergleich zur Bergwerksförderung von Lithium.	73
Abb. 51:	Firmenkonzentration der Bergwerksförderung von Lithium für das Jahr 2015.	74
Abb. 52:	Firmenkonzentration der Unternehmen, die im Jahr 2015 Lithiumchemikalien (Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid) hergestellt haben.	76
Abb. 53:	Firmenkonzentration der Unternehmen, die im Jahr 2015 Lithium-haltige Konzentrate der Kategorie „Technical Grade“ hergestellt haben.	80
Abb. 54:	Prozentuale Verteilung der weltweiten Lithium-Reserven für das Jahr 2017.	80
Abb. 55:	Prozentuale Verteilung der weltweiten Lithium-Ressourcen für das Jahr 2017.	81
Abb. 56:	Tagebau der Firma Talison in Greenbushes, Australien.	85
Abb. 57:	Bikita-Bergwerk, Simbabwe.	87
Abb. 58:	Pegmatitabbau Mt. Marion.	89
Abb. 59:	Pegmatitabbau Mt. Cattlin.	90
Abb. 60:	Explorationsbohrung Pilgangoora.	92

Abb. 61:	Gesamtnachfrageprognosen für das Jahr 2025.	100
Abb. 62:	Nachfrage 2015 im Vergleich zur Prognose 2025 (Base Case).	101
Abb. 63:	Prognostizierte jährliche Nachfragesteigerung (CAGR) für wiederaufladbare Batterien bis 2025.	102
Abb. 64:	Prognostizierte Nachfrage nach Lithium im gesamten Bereich der wiederaufladbaren Batterien im Jahr 2025 (Szenario 2).	107
Abb. 65:	Entwicklungsszenarien von Angebot und Nachfrage von Lithium bis 2025 (Angebotsszenario 1).	110
Abb. 66:	Entwicklungsszenarien von Angebot und Nachfrage von Lithium bis 2025 (Angebotsszenario 2).	112
Abb. 67:	Veränderung der Länderkonzentration der Bergwerksförderung bis 2025.	113

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Physikochemische Eigenschaften von Lithium.	15
Tab. 2:	Umrechnungsfaktoren für Lithium und Lithiumverbindungen.	15
Tab. 3:	Wichtige Lithium-enthaltende Minerale.	16
Tab. 4:	Durchschnittliche Gehalte an Lithium, Magnesium, Kalium, Natrium, Sulfat und Chlorid einzelner Lithiumvorkommen.	17
Tab. 5:	Eigenschaften LCO (Lithium-dotiertes Kobalt-Oxid).	28
Tab. 6:	Eigenschaften NMC (Lithium-dotiertes Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid).	28
Tab. 7:	Eigenschaften NCA (Lithium-dotiertes Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid).	28
Tab. 8:	Eigenschaften LMO (Lithium-dotiertes Mangan-Oxid).	28
Tab. 9:	Eigenschaften LFP (Lithium-Phosphat).	29
Tab. 10:	Eigenschaften LTO (Lithium-Titanat).	29
Tab. 11:	Preisdaten für Lithium und Lithiumverbindungen.	36
Tab. 12:	Auf Basis globaler Handelsdaten berechnete Durchschnittspreise für Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid und Spodumen-Konzentrate.	39
Tab. 13:	Bergwerksförderung von Lithium.	43
Tab. 14:	Jährliche Wachstumsraten der Lithiumförderung für ausgewählte Zeitintervalle ab 1960.	45
Tab. 15:	Produktion von Lithiumverbindungen vs. Produktionskapazitäten 2015.	50
Tab. 16:	Warengruppen nach dem Harmonized System (HS) der Weltzollorganisation.	59
Tab. 17:	Geopolitisches Risiko (Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko) der Weltbergwerksförderung von Lithium 2005 und 2015 im Vergleich.	64
Tab. 18:	Geopolitisches Risiko (Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko) der Produktion von Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid 2015 im Vergleich.	67
Tab. 19:	Importe Deutschlands von Lithiumverbindungen in Tonnen für das Jahr 2015.	69
Tab. 20:	Anteile der wichtigsten Unternehmen an der Bergwerksförderung von Lithium.	75
Tab. 21:	Weiterverarbeiter Lithium-haltiger Solen und Konzentrate im Jahr 2015.	77
Tab. 22:	Anteil der wichtigsten Unternehmen im Jahr 2015, die Lithium-haltige Konzentrate der Kategorie „Technical Grade“ herstellen.	79
Tab. 23:	Einschätzung des Geschäftsumfeldes (Indikatoren) der Länder Bolivien, Chile und Argentinien im Vergleich zu Australien, China und Kanada.	84
Tab. 24:	Übersicht der aktuell wichtigsten Lithium-Projekte im Prefeasibility- und Feasibility-Status bzw. Bergwerke im Bau und in der Wiederaufnahme.	88
Tab. 25:	Übersicht der zusätzlich möglichen Jahresförderkapazität für Lithium.	98
Tab. 26:	Prognosen für den Zeitraum 2015–2025.	99
Tab. 27:	Nachfrageprognosen für den Zeitraum 2015–2025.	99
Tab. 28:	Nachfrageprognosen (wiederaufladbare Batterien) für den Zeitraum 2015–2025.	101
Tab. 29:	Nachfrageprognosen (E-Mobilität) für den Zeitraum 2015–2025.	103
Tab. 30:	Übersicht der globalen PKW-Neuzulassungen im Vergleich zu Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen (BEV, PHEV, HEV).	103
Tab. 31:	Übersicht der europäischen PKW-Neuzulassungen im Vergleich zu Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen (BEV, PHEV, exkl. HEV).	104
Tab. 32:	Nachfrageprognosen (3C-Anwendungen) für den Zeitraum 2015–2025.	105
Tab. 33:	Nachfrageprognosen (Werkzeuge und E-Roller) für den Zeitraum 2015–2025.	106
Tab. 34:	Nachfrageprognosen (ESS) für den Zeitraum 2015–2025.	106

Tab. 35:	Marktdeckung 2025 unter Verwendung unterschiedlicher Nachfrageszenarien und Angebotsszenario 1 (konservativ).	109
Tab. 36:	Marktdeckung 2025 unter Verwendung unterschiedlicher Nachfrageszenarien und Angebotsszenario 2 (optimistisch).	111

Executive Summary

The German Mineral Resources Agency (DERA), which is part of the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), is tasked with creating commodity risk analysis reports. The purpose of these reports is to support German companies in identifying potential price and supply risks on the commodity markets at an early stage. This enables them to develop mitigation strategies in sourcing raw materials. In this study, the current supply situation as well as future supply risks of lithium are described in detail for the period up to 2025.

The lithium market has been very volatile in recent years due to the industry's very high expectations for the application of rechargeable batteries, particularly in e-mobility. In addition, renewable energy storage, such as for wind and solar, plays an increasingly important role in this context.

Due to its specific characteristics, lithium will continue to be an indispensable key component in the coming decades in lithium-ion based batteries. That is why the market expects very high annual growth rates in demand in the coming years. We assume, depending on internal scenarios, that the overall demand for lithium will accordingly double or even triple by 2025.

The automotive industry, including its supply chain, is of paramount importance to the German economy. The transition from traditional ICE-powered cars to electric cars will transform the entire industry in the forthcoming years and thus present unprecedented challenges. In that sense, questions about availability as well as future price developments of lithium have moved onto the agenda of the automotive industry. This also applies to other raw materials that will be needed for lithium ion based batteries, like cobalt, graphite, and nickel. There is currently no primary production of lithium in Germany and if the domestic automotive industry were to manufacture battery cells in the future, they would rely heavily on imports of products such as lithium carbonate or hydroxide. In 2015, Germany was already the world's fifth-largest net importer of lithium carbonate.

Lithium's historic price development shows that there have already been major price fluctuations and short-term price peaks in the past. The reasons for this are complex and are discussed in this study. Price peaks and high volatility in particular represent incalculable risks for the industry.

As an example, the lithium carbonate price has increased quite strongly since early 2016. The annual average price in 2016 was approximately 7,460 US\$/t; thus it was approximately 13 % higher than the average in 2015 (6,460 US\$/t). In April 2017, the price already hovered around 13,000 US\$/t with even higher spot market prices. We also observed high price fluctuations for lithium hydroxide and spodumene concentrates from Australia; we derived its prices from global trade data. For example, the price of spodumene concentrates rose by about 13 % between December 2016 and April 2017. The price of lithium hydroxide rose by about 60 % over the same period. In general for intermediate products, the price data shows that lithium hydroxide is valued more highly compared to lithium carbonate. This explains why some companies or projects prefer to produce lithium hydroxide instead of lithium carbonate.

Primary production of lithium is highly concentrated with the top three companies supplying almost 80 % of global production. This situation will not change until 2025. Indeed, it is likely that there will be further company consolidations or strategic joint ventures between individual companies in the medium to long term. In addition, we assume that the downstream industry will try to participate in the primary production using various measures. This applies mostly to Asian companies, and more specifically to Chinese companies, which either produce pre-cursor materials for the production of lithium ion batteries or are themselves active in cell manufacturing. The standard tools for mitigating risks are: direct investments through joint ventures; Memoranda of Understanding (MOUs); Letters of Intent (LOIs); and Offtake Agreements.

The majority of future projects considered and discussed in this study have already committed to such agreements with possible customers. Therefore, these projects or their possible future production are not

available to the free market. We also observed that exploration projects have tended to focus their planned production towards the battery industry in terms of product quality. This shift affects traditional lithium applications like the glass or ceramics industry.

Two countries currently dominate the supply of lithium. Together, Chile and Australia account for almost 80 % of global supply. In 2025, this situation will shift in favor of Australia, Argentina, and Canada. Chile's market share could potentially fall from just under 36 % to below 17 %. The reason for this is the current structure of the lithium industry in Chile. It remains to be seen to what extent the recently launched "Invest Chile" program will change this situation. Currently, the government institution CORFO is responsible for granting mining licenses and production quotas in the lithium industry. In addition, it is unclear whether Chile's 2017 elections will have an impact on the lithium industry or its strategic orientation. Bolivia has yet to participate in the global lithium market and the development of its untapped lithium resources will continue to depend on a range of political, social and technical challenges. However, it is undisputed that Bolivia has huge potential for lithium.

As of now, new projects both in Australia and Argentina as well as planned expansion capacities in Australia are important cornerstones for lithium production in 2025. These two countries will account for about 67 % of additional production capacities in 2025.

Many different factors will determine whether and to what extent alternative production technologies for brine and hard rock sources of lithium will enter the market. In addition to environmental aspects, the long-term stability of the selected processes, as well as production costs compared to established methods, will play an important role. In this context, it must be noted that lithium production from brine is a time-consuming process when using traditional solar evaporation. Depending on the basic conditions, a period of up to 16 months may be necessary between brine extraction and a level of brine concentration that is suitable for further treatment. This is one of the key aspects when looking at future projects that will use this technology.

The assessment of the lithium supply/demand balance to 2025 is based on two scenarios that we developed. In supply scenario 1, approximately 88,030 t of lithium (468,600 t LCE) will be supplied to the market in 2025. In supply scenario 2, which is the high case scenario, about 120,160 t lithium (639,600 t LCE) will be supplied to the market. We assume a future demand with annual growth rates of 7.3 %, 9.2 % and 12.8 %. This corresponds to a demand of around 67,540–110,770 t Li-content (359,500–589,600 t LCE).

If the lithium market develops towards the more likely supply scenario 1, coupled with a demand growth of 9.2 % per year, we expect a supply surplus to result in about 7,900 t lithium. With an annual increase in demand of only 7.3 %, this surplus would increase to 20,450 t. However, high surplus quantities are likely to lead to a delayed implementation of individual projects or downsizing of production in order to counteract price erosion. An annual demand growth of 12.8 % would lead to a deficit of 22,740 t in scenario 1. This situation could lead to considerable price and supply risks.

Forecasts of future supply volumes are uncertain and subject to many variables. This is why the scenarios presented are only to be understood as market indicators and thus interpreted with caution. Reliable statements beyond 2025 are not useful due to many uncertainties. These include the quantification of advances in exploration or developments in technology on the application side. In addition, we should also note that despite possible primary supply surpluses, production bottlenecks in the downstream sector may lead to shortages of certain product quality levels.

The processing of lithium carbonate, which mainly originates from Chile and Argentina, is expected to remain predominantly in the Asia region until 2025. The processing of Australian spodumene concentrates will continue to be predominantly in China, even though there are efforts to partly move the downstream sector to Australia.

The supply of lithium from secondary sources does not play a major role yet. Due to dissipative distribution in end products and subsequently required product qualities, the recovery is currently not economically feasible. The recycling of lithium ion batteries, however, is possible, and corresponding large-scale processes are available. If the e-mobility market develops as predicted, and if we take the batteries' potential life expectancy into account, then recycling of battery cells will be an important component in the raw material cycle. A closed loop should be the main goal.

Based on these findings, German companies that are utilizing pure lithium or lithium compounds in their products should monitor the market intensively. They should furthermore develop appropriate mitigation strategies, such as long-term supply contracts or project participation, in order to counteract possible bottlenecks and strong price increases.

Zusammenfassung

Die Rohstoffrisikoberichte der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) haben das Ziel, deutsche Unternehmen dabei zu unterstützen, potenzielle Preis- und Lieferrisiken auf den Rohstoffmärkten frühzeitig zu erkennen, um gegebenenfalls geeignete Ausweichstrategien in der Beschaffung zu entwickeln. In der vorliegenden Studie werden die aktuelle Versorgungslage sowie Risiken der zukünftigen Versorgung mit Lithium für den Zeitraum bis einschließlich **2025** detailliert betrachtet.

Der Lithiummarkt hat sich in den letzten Jahren hoch dynamisch entwickelt. Einer der Gründe ist in der großen Erwartungshaltung der Industrie an den Anwendungsbereich der wiederaufladbaren Batterien und hier im Speziellen der E-Mobilität zu suchen. Aber auch die Speicherung regenerativer Energien spielt in diesem Kontext eine zunehmend wichtige Rolle.

Aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften stellt Lithium für wiederaufladbare Batterien auch in den kommenden Jahrzehnten weiterhin eine unverzichtbare Schlüsselkomponente dar. Daher wird in den kommenden Jahren mit sehr hohen Zuwachsraten gerechnet. Wir gehen davon aus, dass sich die Gesamtnachfrage nach Lithium, je nach Szenario, bis 2025 entsprechend verdoppeln oder sogar mehr als verdreifachen wird.

Eines der wichtigsten Standbeine der deutschen Industrie stellt die Automobilbranche inkl. ihrer Zulieferindustrie dar. Die Mobilitätswende hin zur Elektrifizierung des Personenverkehrs wird die gesamte Branche in den kommenden Jahren und Jahrzehnten maßgeblich verändern und vor große Herausforderungen stellen. Entsprechend rücken Fragen nach der Verfügbarkeit und zukünftigen Preisentwicklungen von Lithium auf die Agenda der Automobilindustrie. Für die Versorgung mit Lithium gilt zu berücksichtigen, dass Lithium derzeit nicht in Deutschland primär gewonnen wird. Falls es in Deutschland zukünftig zu einer Fertigung von Batteriezellen kommen sollte, wäre die hiesige Industrie auf den Import dieser Produkte angewiesen. Bereits im Jahr 2015 war Deutschland weltweit fünftgrößter Nettoimporteur von Lithiumkarbonat.

Die Preisentwicklung von Lithium zeigt, dass es in der Vergangenheit bereits zu großen Preisschwankungen und kurzfristigen Preispeaks gekommen ist. Die Ursachen hierfür sind vielschichtig und werden in der vorliegenden Studie dargestellt. Für Unternehmen stellen Preispeaks und hohe Volatilitäten unkalkulierbare Risiken in der Beschaffung dar.

Seit Anfang 2016 ist z. B. der Lithiumkarbonatpreis erheblich gestiegen. Der Jahresdurchschnittspreis lag 2016 mit ca. 7.460 US\$/t etwa 13 % über dem Niveau von 2015 (ca. 6.460 US\$/t). Im April 2017 lag der Preis bereits bei ca. 13.000 US\$/t. Die Preise am Spotmarkt liegen teilweise noch deutlich darüber. Auch bei den aus Handelsdaten abgeleiteten Preisen für Lithiumhydroxid und Spodumen-Konzentrate sind hohe Preisschwankungen zu verzeichnen. So stieg der Preis für Spodumen-Konzentrate zwischen Dezember 2016 und April 2017 um ca. 13 %. Der Preis von Lithiumhydroxid stieg im gleichen Zeitraum um etwa 60 %. Generell ergibt sich aus den Preisdaten, dass Lithiumhydroxid höhere Preise als Lithiumkarbonat erzielt. Dies erklärt auch, warum einige Firmen bzw. Projekte die Produktion von Lithiumhydroxid anstatt von Lithiumkarbonat präferieren.

Die Primärförderung von Lithium stellt ein Oligopol dar. Die drei wichtigsten Unternehmen lieferten 2015 knapp 80 % der globalen Förderung. An dieser Situation wird sich bis 2025 nichts ändern. Es ist vielmehr abzusehen, dass es mittel- bis langfristig zu weiteren Firmenkonsolidierungen bzw. strategischen Joint Ventures zwischen einzelnen Unternehmen kommen wird. Ferner ist davon auszugehen, dass sich die weiterverarbeitende Industrie in noch stärkerem Maße an der Primärförderung beteiligen wird.

Dies gilt vorrangig für asiatische Unternehmen. Im Speziellen trifft dies für chinesische Unternehmen zu, die entweder Vorprodukte zur Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien produzieren oder selbst in der Zellfertigung aktiv sind. Neben direkten Beteiligungen über Joint Ventures sind Memorandum of Understanding (MOUs), Letter of Intends (LOIs) und Off-Take Agreements übliche Absicherungswerkzeuge.

Der überwiegende Teil der im Rahmen dieser Studie betrachteten zukünftigen Projekte hat solche Vereinbarungen bereits getroffen. Entsprechend stehen diese Mengen dem freien Markt nicht zur Verfügung. Weiterhin ist zu beobachten, dass Explorationsprojekte dazu tendieren ihre geplante Produktion bezüglich ihrer Produktqualitäten auf die Batterieindustrie hin auszurichten. Diese Verschiebung wirkt sich vor allem auf traditionelle Lithiumanwendungen, bspw. in der Glas- oder Keramikindustrie, aus.

Das Angebot an Lithium wird aktuell von zwei Ländern bestimmt. Zusammen stellen Chile und Australien knapp 80 % der globalen Bergwerksförderung. Im Jahr 2025 wird sich diese Situation zugunsten von Australien, Argentinien und Kanada verschieben. Der Anteil Chiles am Lithiummarkt könnte im Gegenzug von aktuell knapp 36 % auf unter 17 % fallen. Die Ursachen hierfür sind in der Struktur der Lithiumindustrie in Chile zu suchen. Ob und inwieweit das kürzlich gestartete Programm „Invest Chile“ an diesem Sachverhalt etwas ändern wird, bleibt abzuwarten. Aktuell werden Abbaulizenzen und -quoten über die staatliche Einrichtung CORFO vergeben. Darüber hinaus ist unklar, ob die Wahlen in Chile im Jahr 2017 einen Einfluss auf die Lithiumindustrie bzw. deren strategische Ausrichtung haben werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die aktuellen Entwicklungen in Bolivien. Ob es hier gelingt, mittel- bis langfristig eine funktionierende und stabile Lithiumförderung zu etablieren, hängt von vielen Faktoren ab. Es bleibt jedoch unbestritten, dass Bolivien über sehr große Potenziale zur Lithiumförderung verfügt.

Nach aktuellem Stand stellen neue Projekte in Australien und Argentinien sowie die geplanten Kapazitätserweiterungen in Australien die wichtigsten Eckpfeiler der Förderung von Lithium im Jahr 2025 dar. Auf diese beiden Länder entfallen etwa 67 % der für das Jahr 2025 geplanten zusätzlichen Produktionskapazitäten.

Ob und inwieweit sich zukünftig alternative Aufbereitungstechnologien für Sole- und Festgesteinsvorkommen etablieren werden, hängt von vielen Faktoren ab. Neben Umweltaspekten spielen hier vor allem die Langzeitstabilität der gewählten Prozesse sowie Produktionskosten eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang muss angemerkt werden, dass die Lithiumförderung aus Sole bei Verwendung der Solarevaporation einen zeitintensiven Prozess darstellt. Je nach Rahmenbedingungen kann zwischen Soleförderung und Weiterverarbeitung der konzentrierten Sole ein Zeitraum von bis zu 16 Monaten vergehen. Dies gilt es bei der Betrachtung zukünftiger Projekte zu berücksichtigen.

Für die Bewertung der zukünftigen Marktdeckung wurden für Lithium zwei Angebotsszenarien bis zum Jahr 2025 entwickelt. Die zukünftige Nachfrage wurde mit einer jährlichen Steigerung von 7,3 %, 9,2 % und 12,8 % angenommen. Dies entspricht einer Nachfrage von rund 67.540–110.770 t Li-Inh. (359.500–589.600 t LCE). In Angebotsszenario 1 stehen dem Markt 2025 aus der Bergwerksförderung zusammen etwa 88.030 t Lithium (ca. 468.600 t LCE) zur Verfügung. In Angebotsszenario 2 wären es etwa 120.080 t Lithium (ca. 639.600 t LCE).

Falls sich der Lithiummarkt vergleichbar zu dem wahrscheinlicheren Angebotsszenario 1 entwickelt (Nachfragewachstum 9,2 % jährlich), ist davon auszugehen, dass sich bis 2025 ein Angebotsüberschuss von ca. 7.900 t Lithium ergeben wird. Bei einem jährlichen Nachfragezuwachs von 7,3 % ergibt sich in diesem Angebotsszenario ein Überschuss von rd. 20.450 t. So hohe Überschussmengen führen wahrscheinlich zu einer zeitlich verzögerten Umsetzung einzelner Projekte bzw. Skalierung der Produktion, um einer Erosion des Preisniveaus entgegenzuwirken. Sollte die Nachfrage jedoch mit 12,8 % zunehmen, ergibt sich im Jahr 2025 ein Defizit von rd. 22.740 t. Diese Situation könnte zu erheblichen Preis- und Lieferrisiken führen.

Prognosen zu zukünftigen Angebotsmengen sind mit einem Unsicherheitsfaktor behaftet, weshalb die dargestellten Szenarien zur zukünftigen Marktdeckung nur als Marktbarometer zu verstehen sind. Verlässliche Aussagen über das Jahr 2025 hinaus sind aufgrund zahlreicher Unwägbarkeiten bei der Quantifizierung von Explorationsfortschritten oder von Technologieentwicklungen auf der Anwenderseite nicht sinnvoll. Zusätzlich gilt es anzumerken, dass es trotz Angebotsüberschüssen bei einzelnen Produktqualitäten durchaus zu Lieferengpässen kommen kann.

Die Weiterverarbeitung von Lithiumkarbonat, welches hauptsächlich aus Chile und Argentinien stammt, wird voraussichtlich bis 2025 vorrangig weiterhin im asiatischen Raum stattfinden. Auch die Weiterverarbeitung von Spodumen-Konzentraten aus Australien wird künftig weiterhin zum Großteil in China erfolgen.

Das Angebot von Lithium aus dem Sekundärsektor spielt bislang keine große Rolle. Aufgrund der dissipativen Verteilung in den Endprodukten und geforderten Produktqualitäten ist die Rückgewinnung derzeit wirtschaftlich nicht darstellbar. Das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien ist jedoch möglich und entsprechende großtechnische Prozesse stehen zur Verfügung. Bei einem Markthochlauf der E-Mobilität wird, unter Berücksichtigung der potenziellen Lebensdauer der Batterien, das Recycling und die Wiederverwertung in Zukunft eine wichtige Komponente im Rohstoffkreislauf darstellen. Ein geschlossener Kreislauf sollte hierbei oberstes Ziel sein.

Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse sollten deutsche Unternehmen, die Lithium selbst verarbeiten oder in ihren Produkten einsetzen, den Markt intensiv beobachten und geeignete Ausweichstrategien wie etwa langfristige Lieferverträge oder Projektbeteiligungen gegen eventuelle Lieferengpässe und starke Preissteigerungen entwickeln.

1 Rohstoff Lithium

1.1 Einführung

Lithium (Li: altgr. Lithos) ist ein Leichtmetall mit der Ordnungszahl 3. Es steht im Periodensystem der Elemente in der zweiten Periode und in der ersten Hauptgruppe. In der Erdkruste kommt es mit einer Häufigkeit von etwa $6 \cdot 10^{-3} \%$ vor.

In elementarer Form ist Lithium ein weiches silberweißes Metall. Bei Raumtemperatur ist es das leichteste aller festen Elemente. Unter den Alkalimetallen hat Lithium neben dem höchsten Schmelz- und Siedepunkt auch die höchste spezifische Wärmekapazität (Tab. 1). Lithium besitzt in elementarer Form die stärkste Hydrationsenthalpie von allen Alkalimetallen und zieht Wasser somit sehr stark an. Wie alle Alkalimetalle ist Lithium sehr reaktiv und reagiert mit sehr vielen Elementen. Abweichend zu anderen Metallen der ersten Hauptgruppe reagiert das Metall bereitwillig mit Stickstoff zu Lithiumnitrid. Aufgrund seiner Reaktivität wird elementares Lithium in Paraffinöl oder Petroleum aufbewahrt. Bei Kontakt mit Sauerstoff reagiert Lithium vehement zu Lithiumoxid.

In wissenschaftlichen Publikationen sowie Berichten und Präsentationen einzelner Unternehmen bzw. Explorationsprojekten finden sich oft Angaben zu Li-Inh., LCE (Lithium-Carbonate-Equivalent), Li_2O usw. Aus diesem Grund finden sich in Tabelle 2 die entsprechenden Umrechnungsfaktoren.

Die wirtschaftlich wichtigsten Quellen für Lithium stellen **Festgesteinsvorkommen** (z. B. Austra-

Tab. 1: Physikochemische Eigenschaften von Lithium.

Lithium	
Ordnungszahl	3
Atomgewicht	6,94u
Dichte (20 °C)	0,534 g/cm ³
Härte (nach Mohs)	0,6
Schmelzpunkt	180,75 °C (453,9 K)
Siedepunkt	1.341,85 °C (1.615 K)
Spezifische Wärmekapazität	3.482 J/(g · K)
Stabile Isotope [2] (nach Häufigkeit)	⁷ Li (92,6 %); ⁶ Li (7,4 %)
Elektronenkonfiguration	[He] 2s ¹
Oxidationsstufen	+I
Ionenradius	60 pm (Li ⁺)
Elektronegativität (Pauling-Skala)	0,98
Standardpotenzial	-3,04 V (Li ⁺ + e ⁻ → Li)
Elektrische Leitfähigkeit	10,6 · 10 ⁶ A/(V · m)
Thermische Leitfähigkeit	85 W/(m · K)

lien, Kanada, Simbabwe) (Tab. 3) und **Solevorkommen** (z. B. Chile, Argentinien) (Tab. 4) dar. Diese beiden teilen sich momentan etwa 1 : 1 des globalen Angebots von Lithium.

Darüber hinaus findet sich Lithium in Grundwässern von Öllagerstätten (sog. Oilfield Brines), kontinentalen Tiefenwässern (Geothermal Brines), Tonen wie Hektorit und Lithium-haltigen Mineralen wie z. B. Jadarit (Serbien) oder Zinnwaldit (Deutschland).

Tab. 2: Umrechnungsfaktoren für Lithium und Lithiumverbindungen.

Ausgangsverbindung	Formel	Li-Gehalt (%)	zu Li	zu Li ₂ O	zu Li ₂ CO ₃
Lithium	Li	100	1	2,153	5,323
Lithiumoxid	Li ₂ O	46,5	0,464	1	2,473
Lithiumfluorid	LiF	26,8	0,268	0,576	1,420
Lithiumkarbonat	Li ₂ CO ₃	18,8	0,188	0,404	1
Lithiumhydroxidmonohydrat	LiOH · H ₂ O	16,5	0,165	0,356	0,880
Lithiumchlorid	LiCl	16,3	0,163	0,362	0,871
Lithiumhypochlorid	LiOCl	11,89	0,119	0,256	0,633
Lithiumbromid	LiBr	8	0,080	0,172	0,425
Butyllithium	C ₄ H ₉ Li	10,83	0,108	0,233	0,576

Tab. 3: Wichtige Lithium-enthaltende Minerale
(Datenquelle: BGS 2016, ROSKILL 2016a, GARRET 2004).

Minerale	Formel	Li-Gehalt (%)	Ø Li-Gehalt Erze (%)
Spodumen	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	1,9–3,7	1,35–3,6
Petalit	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$	1,6–2,27	1,4–2,2
Lepidolith	$\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$	1,39–3,6	1,4–1,9
Amblygonite	$(\text{Li},\text{Na})\text{AlPO}_4(\text{F},\text{OH})$	3,4–4,7	k. A.
Eucryptit	LiAlSiO_4	2,1–5,53	2,1–4,4
Bikitaite	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3,4	k. A.
Hektorit	$\text{Na}_{0,3}(\text{Mg},\text{Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	0,24–0,54	k. A.
Salitolit	$(\text{Li},\text{Na})\text{Al}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH}_5)$	0,77	k. A.
Swinefordite	$\text{Li}(\text{Al},\text{Li},\text{Mg})_4(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH};\text{F})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1,74	k. A.
Zinnwaldit ¹	$\text{K}(\text{Li},\text{Fe}^{2+},\text{Al})_3[(\text{F},\text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	0,92–1,85	k. A.
Polyolithionit	$\text{KLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$	k. A.	k. A.
Jadarit	$\text{LiNaSiB}_3\text{O}_7(\text{OH})$	7,3	k. A.

¹ Übergruppe der beiden Endglieder Siderophyllit ($\text{K}(\text{Fe}^{2+},\text{Al})_3[(\text{F},\text{OH})_2](\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}$) und Polyolithionit ($\text{KLi}_2\text{Al}[\text{F}_2]\text{Si}_4\text{O}_{10}$)

Festgesteinsvorkommen: Aufgrund seiner chemischen Eigenschaften verbleibt Lithium sehr lange in den fluidalen Phasen von Magmen. Aus diesem Grund finden sich die primären Festgesteinsvorkommen auch vorrangig in Pegmatiten und Randbereichen alkalischer Intrusionen. Wichtige Vorkommen finden sich in Australien, Kanada und Afrika (z. B. Simbabwe). Darüber hinaus kommen Lithium-haltige Minerale aber auch in hydrothermalen Lagerstätten vor. Es gibt etwa 200 Minerale, die Lithium in Konzentrationen > 0,002 % Li_2O enthalten. Etwa 25 davon enthalten Lithium in Konzentrationen > 2 % Li_2O (GARRET 2004). Wirtschaftlich nutzbar sind davon jedoch nur wenige. Die für die Gewinnung von Lithium wichtigsten Minerale sind in Tab. 3 zusammengefasst.

Neben Lithium-haltigen Mineralen kommen in solchen Pegmatiten auch andere werthaltige Minerale vor, die z. B. Tantal, Niob, Zinn, Wolfram, Cäsium, Rubidium, Bor, Fluor und andere seltene Elemente enthalten.

Solelvorkommen: Lithium-haltige Grundwässer kommen vor allem in drei unterschiedlichen Environments vor. Zum einen in Salzseen (Salaren) bzw. Playas und zum anderen in kontinentalen Tiefenwässern und Ölfeldwässern. Aktuell genutzt werden jedoch nur die erstgenannten Vorkommen in Salzseen.

Das Lithium in diesen Vorkommen hat seinen Ursprung wahrscheinlich in geothermalen Tiefenwässern bzw. heißen Quellen (GARRET 2004) (Abb. 1). Geringe Mengen an Lithium können auch aus der Laugung Lithium-haltiger Minerale (vulkanische Aschen, Tone) stammen. Hierzu sind aber relativ hohe Temperaturen notwendig. Hydrogeologisch stellen diese Vorkommen äußerst komplexe Systeme dar, die sich von Salar zu Salar stark unterscheiden können. Generell zeichnen sie sich durch ihre Höhenlage und geringe Niederschlagsmengen aus.

Im Falle des Salar de Atacama, dem drittgrößten Salar der Erde, stammt ein Großteil des Lithiums aus heißen Quellen des El-Tatio-Geyser-Feldes (28–47 ppm Li). Dieses liegt nördlich des Salars und speist Wasser in den Rio Salado, welcher in den Rio San Pedro mündet (GARRET 2004). Ein substanzieller Zufluss in den Salar findet unterirdisch statt (ca. 64 %). Dieser enthält aber bis zu 85 % des Lithiums, das den Salar erreicht.

Je nach Salar schwanken die Gehalte an Lithium sehr stark. Im Salar de Atacama liegen sie bei Ø 1.500 ppm (Tab. 4). Wichtiger ökonomischer Faktor für die Gewinnung von Lithium aus solchen Vorkommen sind aber nicht nur die Gehalte an Lithium, sondern auch die Gehalte an Verunreinigungen wie Magnesium und Sulfat bzw. das Verhältnis von Lithium zu diesen Elementen. Prinzipiell gilt,

Tab. 4: Durchschnittliche Gehalte an Lithium, Magnesium, Kalium, Natrium, Sulfat und Chlorid einzelner Lithiumvorkommen
(Datenquelle: GARRET 2004, ROSKILL 2016a, BGS 2016, NEOLITHIUM 2017, Li₃ 2016).

Vorkommen	Ort	Li Ø (ppm)	Mg Ø (ppm)	K Ø (ppm)	Na Ø (ppm)	SO ₄ Ø (ppm)	Cl Ø (ppm)	Mg/Li	K/Li	SO ₄ /Li
Salare										
Salar de Atacama	Chile	1.570	9.650	23.600	91.000	15.900	189.500	6,15	15,03	10,12
Salar de Maricunga		1.250	8.280	8.869	k. A.	7.200	k. A.	6,63	8,6	5,76
Salar de Hombre Muerto	Argentinien	190 –900	180 –1.410	2.400 –9.700	99.000 –103.000	5.300 –11.400	158.000 –168.000	0,94 –1,56	12,63 –10,77	27,89 –12,66
Salar de Olaroz ¹		610 –695	1.450 ²	5.730	k. A.	16.287 ³	k. A.	2,37 ¹	9,39 –8,24	26,7 ¹
Salar de Rincon		397	3415 ²	7.513	k. A.	12.228 ³	k. A.	8,6	18,9	30,8
Salar des tres Quebradas ⁴		858	1.363	7.682	78.782	554	191.289	1,59	8,9	0,65
Salar de Los Angeles		501	1.904 ²	6.206	k. A.	7.315 ³	k. A.	3,8	k. A.	14,6
Sal de Vida		782	1.720 ²	8.653	k. A.	8.993 ³	k. A.	2,2	11,1	11,5
Salar de Cauchari		618	1.792 ²	5.127	k. A.	19.096 ³	k. A.	2,9	8,3	30,9
Salar de Centenario		560	3.260	5.111	k. A.	k. A.	k. A.	5,87	9,20	k. A.
Mariana		300 –341	k. A.	8.740 –10.655	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Salar de Uyuni		Bolivien	349	6.500	7.200	87.200	8.500	157.100	18,62	20,63
Clayton Valley	USA	163	190	4.000	46.900	3.400	72.600	1,17	24,54	20,86
Silver Peak		245	343 ²	5.655	k.A	7.571 ³	k.A	1,4	23,1	30,9
Searless Lake		54 –60	k. A.	2.530 –1.570	110.800 –118.400	4.610 –4.440	123.000 –108.100	k. A.	46,9 –26,2	85,4 –74
Great Salt Lake	18	5.000 –9.700	2.600 –7.200	37.000 –87.000	9.400 –20.000	70.000 –156.000	277,8 –538,9	144,4 –400	522,2 –1.111,1	
Bonneville	57	4.000	5.000	83.000	k. A.	140.000	70,2	87,7	k. A.	
Zabuye Caka	489	26	16.600	72.900	27.100	123.000	0,05	33,9	55,4	
Da Qaidam (Quaidam Becken ⁵)	China	182	11.700	3.600	77.700	20.400	141.600	64,3	19,8	112
Taijinaier		310	20.200	4.400	56.300	34.100	134.200	65,2	14,2	110
Totes Meer	Israel	12	3.090	5.600	30.010	610	161.000	257,5	466,7	50,8
Sua Pan	Indien	20	k. A.	2.000	60.000	8.300	70.900	k. A.	100	415
Geothermal Brines										
Salton Sea	USA	100 –400	700 –5.700	13.000 –24.000	50.000 –70.000	42.000 –50.000	142.000 –209.000	7 –14,3	130 –240	420 –500
Paradox Becken		110	30.900	26.700	25.200	22	201.000	281	243	0,2
Cerro Prieto	Mexiko	393	k. A.	36.000	70.000	k. A.	159.000	k. A.	91,6	k. A.
El Tatio Hot Springs	Chile	38	2,2	357	3.620	36	6.470	0,06	9,4	0,95
Cronembourg	Frankreich	220	145	3.978	32.200	508	61.415	0,66	18,08	2,3
Cesano	Italien	350	12	21.370	63.570	91.010	37.010	0,03	61,1	260,1
Oilfield Brines										
Smackover (1976)	USA	146	2.900	2.400	56.900	375	144.500	19,9	16,4	2,6
Smackover (1984)		170	3.500	2.800	67.000	450	171.700	20,6	16,5	2,6

¹ Basiert auf Angaben des Unternehmens Orocobre (2016), ² abgeleitet aus dem Verhältnis Mg/Li, ³ abgeleitet aus dem Verhältnis SO₄/Li, ⁴ basiert auf Angaben des Unternehmens Neolithium (2017), ⁵ Becken enthält die Seen: Qaidam, Kiao Quaidam, Mahai, Quinghai

umso geringer diese Verunreinigungen sind, desto einfacher und günstiger stellt sich die konventionelle Aufbereitung und letztendlich die Gewinnung von Lithium dar.

Tone: Lithium-haltige Tone entstehen bei der Verwitterung von Lithium-haltigen vulkanischen Intrusivgesteinen. Eine weitere Anreicherung kann durch hydrothermale Prozesse stattfinden. Die wichtigsten dieser Tonminerale gehören zur Gruppe der Smektite, hier vor allem das Endglied Hektorit (Tab. 3). Hektorit enthält zwischen 0,24 % und 0,54 % Lithium. Wichtige Vorkommen finden sich in den USA (Nevada, Kalifornien, Utah, Oregon, Wyoming, Arizona und New Mexiko) (ROSKILL 2016a). Das Unternehmen Lithium Americas entwickelt in den USA z. B. das Kings Valley Projekt. Hier kommen vor allem Illite und Smektite (Hektorit) als Lithiumquelle vor.

Glimmer: Lithium kann darüber hinaus in Lithiumeisenglimmern (z. B. Zinnwaldit) vorkommen. Zinnwaldit steht als Gruppenname für die Mischreihe Siderophyllit – Polyolithionit (Endglieder). Sie gehören damit zur Phlogopitgruppe. Die Typlokalität für Zinnwaldit liegt im Erzgebirge zwischen

Sachsen und Böhmen in Zinnwald (Zinnwald-Georgenstadt). Auf der deutschen Seite wird aktuell ein Projekt durch das Unternehmen Deutsche Lithium (Zinnwald) und Tin International (Sadisdorf) entwickelt. Auf der tschechischen Seite entwickelt European Metals die gleiche Lagerstätte (Kap. 2.5.4). Zinnwaldit weist einen relativ geringen Lithiumgehalt von ca. 0,92 bis 1,85 % sowie relativ hohe Gehalte an Eisen (ca. 11 % FeO) und Fluorid (ca. 6 %) auf, was die Prozessierung und Gewinnung von Lithium gegenüber anderen Erzen (Pegmatiten) erschwert. In Mexiko entwickelt das Unternehmen Bacanora Minerals ein Projekt, in dem Lithium unter anderem aus dem Tonmineral Polyolithionit ($\text{KLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$) gewonnen werden soll (SRK 2015).

Übrige Vorkommen: Neben den genannten Quellen kommt Lithium auch in dem Mineral Jadarit vor (Tab. 3). Dabei handelt es sich um ein Natrium-Lithium-Bor-Silikat-Hydroxid, welches maximal 7,3 % Lithium enthalten kann. Die Typlokalität befindet sich im Jadarbecken in Serbien (Kap. 2.5.4.). Momentan entwickelt dort der internationale Bergbaukonzern Rio Tinto ein Lithium/Bor-Projekt.



Abb. 1: Lithium-haltige heiße Quellen (Salar des tres Quebradas, Argentinien) (BGR 2016).

1.2 Gewinnung und Verarbeitung

Die kommerzielle Gewinnung von Lithium erfolgt wie bereits erwähnt aus Lithium-haltigen Solen und aus Festgesteinsvorkommen. Eine vereinfachte schematische Darstellung der konventionellen Produktionsschritte und wichtigsten Zwischenprodukte ist in Abb. 2 dargestellt.

Gewinnung aus Festgesteinsvorkommen: Zur Gewinnung von Lithium aus Festgesteinsvorkommen werden die im Tage- oder Untertagebau geförderten Roherze (bspw. Pegmatite) durch Sortieren, Brechen, Mahlen, Schwereretrennung, Magnetscheidung, Flotation, Waschen, Filtern und Trocknen zu Lithium-haltigen Konzentraten verarbeitet. Hierbei wird in unterschiedliche Qualitäten hinsichtlich Reinheit, Korngröße usw. unterschieden. Typische Qualitäten sind „Technical Grade“ und „Chemical Grade“.

Die genauen Produktionsschritte variieren je nach Vorkommen, Mineralogie (Tab. 3), Unternehmen und dem späteren Verwendungszweck der gewonnenen Konzentrate. Konzentrate der Kategorie „Chemical Grade“ werden zum überwiegenden Teil nach Asien (China, Südkorea) zur Weiterverarbeitung zu Batterievorprodukten (Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid) exportiert. Konzentrate der Kategorie „Technical Grade“ zeichnen sich durch geringere Mengen an Verunreinigungen wie Eisen aus und werden bspw. nach Europa exportiert, wo

sie in der Glas- und Keramikindustrie eingesetzt werden (Kap. 1.3).

In Australien (Greenbushes, Mt. Cattlin, Mt. Marion) und einigen Vorkommen in China wird vornehmlich Spodumen abgebaut. In Simbabwe (Bikita) und Brasilien (Itinga) wird demgegenüber hauptsächlich Petalit im Tagebau gewonnen (Abb. 57). Lepidolith wird bspw. in Portugal, Spanien (Alberto), China (Yichun Huili) gewonnen. Amblygonit wurde ursprünglich in Kanada (Bernic) und Namibia (Rubicon) abgebaut.

Prinzipiell stehen zwei Prozesse zur Herstellung von Lithiumverbindungen aus Spodumen-Konzentraten zur Verfügung (Acid-Roast, Lime-Roast). Laut ROSKILL (2016a) wird der Lime-Roast-Prozess großtechnisch jedoch nicht mehr verwendet.

Viele Produzenten in China verwenden den Acid-Roast-Prozess in der hier dargestellten Variante bzw. in modifizierter Form. Viele dieser chinesischen Anlagen (Converter) produzieren neben Lithiumkarbonat auch Lithiumhydroxid.

Im Acid-Roast-Prozess wird das Spodumen-Konzentrat aufgemahlen und in einem Drehrohrofen auf 1.075–1.150 °C erhitzt (Abb. 3). Hierdurch wandelt sich α -Spodumen in β -Spodumen, welcher in heißen Säuren löslich ist. Nach dem Mischen des Konzentrates mit heißer Schwefelsäure wird die Lithiumsulfatlösung mit Wasser versetzt.

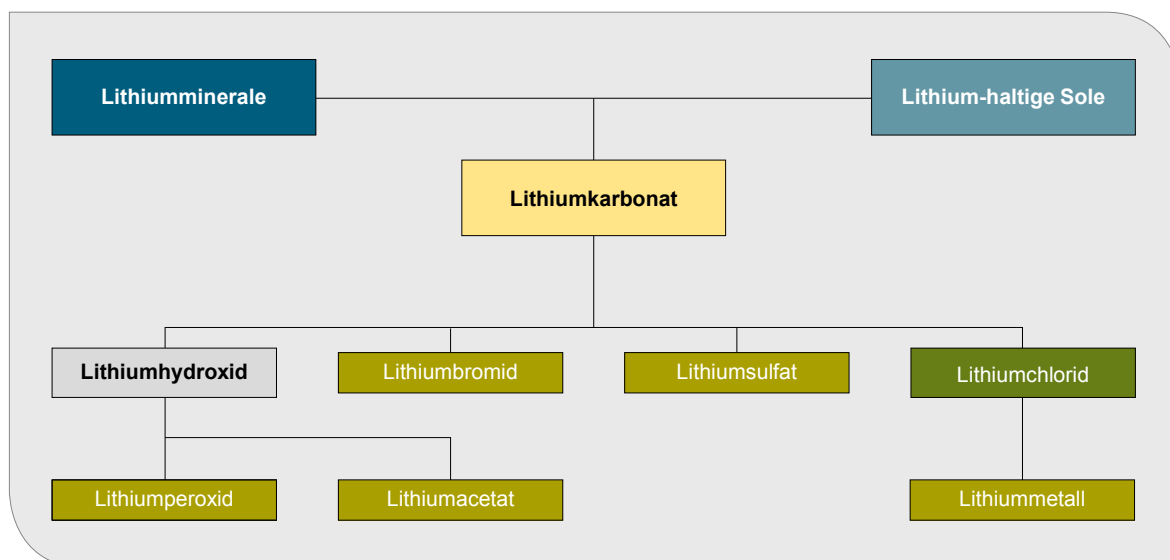


Abb. 2: Vereinfachtes Produktionsschema von Lithium und wichtigen Lithiumverbindungen (modifiziert nach ROSKILL 2016a).

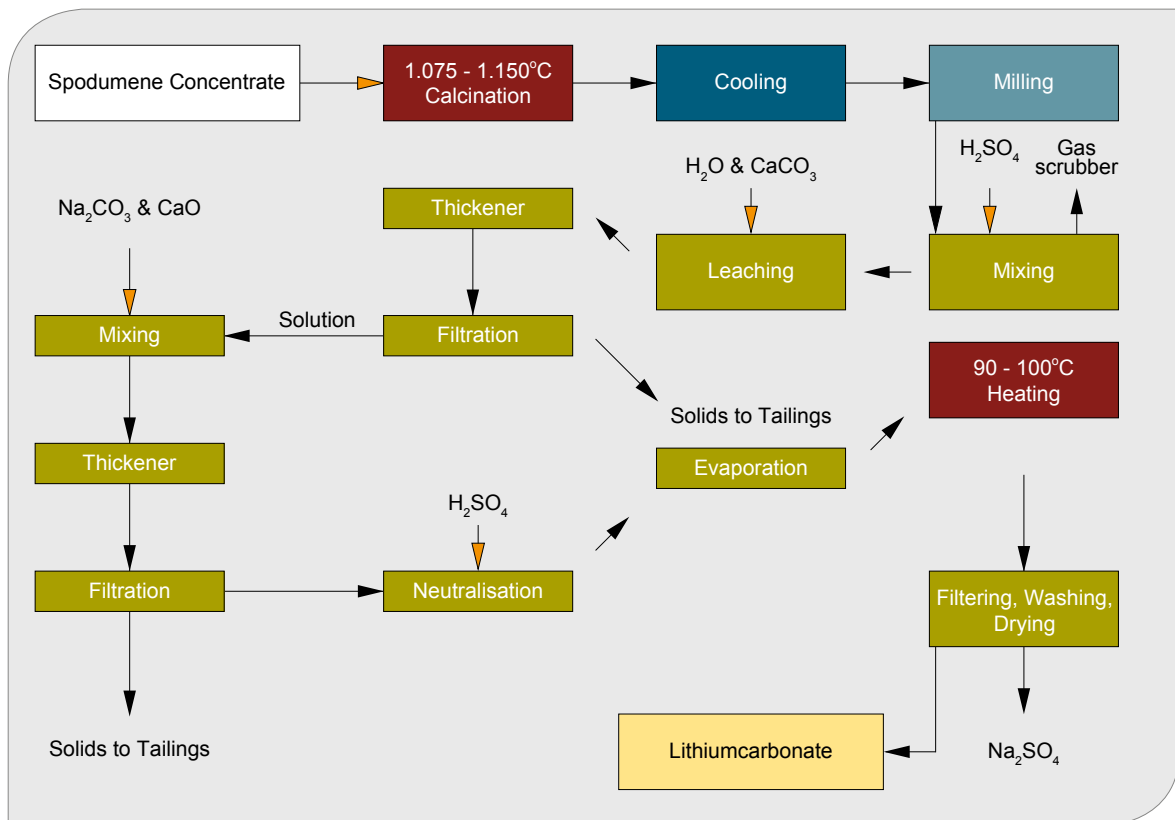


Abb. 3: Flussdiagramm zur Produktion von Lithiumkarbonat (Li_2CO_3) aus Spodumen-Konzentraten mittels Acid-Roast-Prozess (modifiziert nach GARRET 2004).

Dadurch löst sich das Lithiumsulfat. Die Lösung wird dann mit Kalziumkarbonat gemischt, um Verunreinigungen wie Eisen, Mangan und Aluminium zu entfernen. Zusätzlich wird der pH-Wert angehoben. Nach einem ersten Filterprozess werden Na_2CO_3 (calciniertes Soda, Waschsoda) und CaO zugesetzt, um eine alkalische Lösung herzustellen und Verunreinigungen wie Kalzium und Mangan zu entfernen. Die Lösung wird danach mit Schwefelsäure neutralisiert und erhitzt, um die Konzentration von Li_2SO_4 auf ca. 200–250 g/l zu erhöhen. Durch die Zugabe von Na_2CO_3 und Erhitzung auf ca. 100 °C wird Lithiumkarbonat ausgefällt.

Das so hergestellte Lithiumkarbonat hat Reinheiten von bis zu 99,3 %. Für die Verarbeitung in der Batterieindustrie werden jedoch Reinheiten von min. 99,5 % benötigt. Diese werden über den Prozess des Ionenaustauschs erreicht. Je nach geforderter Reinheit erfolgt die Produktion in einem bzw. zwei Schritten (INDUSTRIAL MINERALS 2017). Das hergestellte Lithiumkarbonat kann zur Herstellung von Lithiumhydroxid verwendet werden.

Im Lime-Roast-Prozess werden Spodumen-Konzentrate aufgemahlen und zusammen mit ungelöschtem Kalk (CaO) in einem Ofen gebrannt. Der dabei hergestellte Klinker (Ca_2SiO_4 , Li_2O) wird aufgemahlen und mit heißem Wasser versetzt, wodurch Lithiumhydroxid entsteht. Aus dieser Lösung wird Lithiumhydroxid bzw. Lithiumhydroxid-Monohydrat ausgefällt.

Neben diesem etablierten Acid-Roast-Prozess gibt es neue Ansätze zur direkten Gewinnung von Lithiumhydroxid aus Spodumen-Konzentraten ohne den Umweg über Lithiumkarbonat. Das Unternehmen Nemaska Lithium aus Kanada will bspw. über einen kombinierten Prozess aus Acid-Roast (+ Schwefelsäure), Ionenaustauscher und Membran-Elektrolyse eine Lithiumhydroxid-Lösung (LiOH) herstellen, aus der dann Lithiumhydroxid-Monohydrat ($\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$) und/oder Lithiumkarbonat (Li_2CO_3) gewonnen werden kann. In diesem Prozess wird kein Waschsoda (Na_2CO_3) benötigt und es fällt kein Natriumsulfat (Na_2SO_4) an (NEMASKA LITHIUM 05/2017).

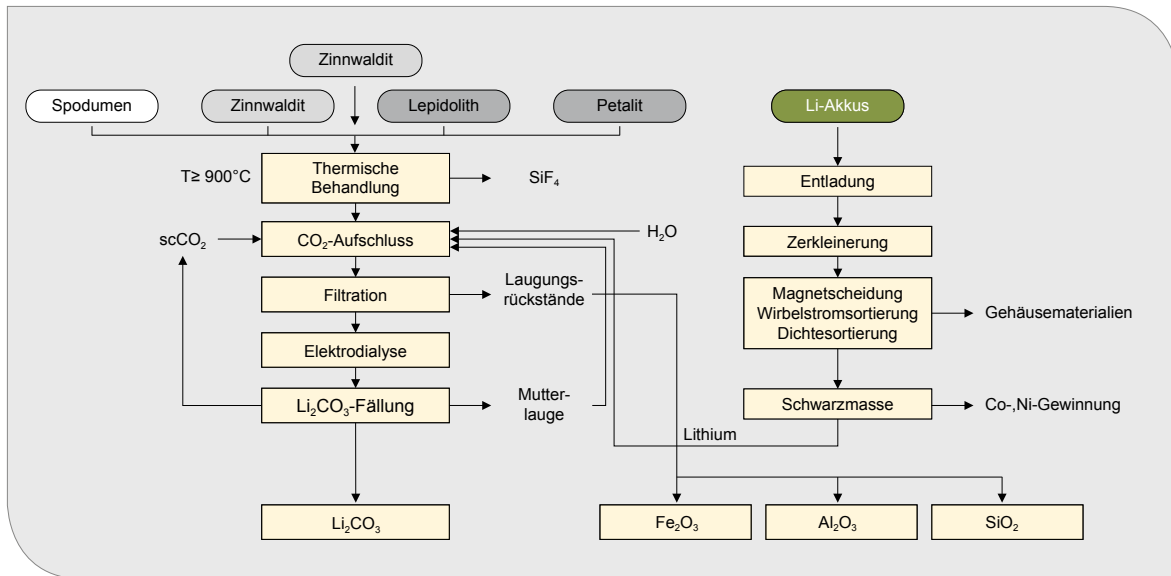


Abb. 4: Hybridverfahren zur Gewinnung von Lithiumkarbonat (Li_2CO_3) mittels scCO_2 -Aufschluss aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien (z. B. thermisch behandeltem Zinnwaldit (β -Spodumen) (modifiziert nach MARTIN et al. 2017).

Die beiden Unternehmen Neometals und Minerals Resources haben zusammen den Eli-Prozess entwickelt. In diesem Prozess wird Lithiumhydroxid-Monohydrat direkt aus Spodumen-Konzentraten gewonnen. Hierzu wird das Konzentrat in einem Ofen von α -Spodumen in β -Spodumen umgewandelt und mit Salzsäure (HCl) versetzt, wodurch eine Lithiumchloridlösung (LiCl) entsteht. Nach der Abtrennung von Verunreinigungen wie Eisen, Aluminium, Silizium, Kalzium und Magnesium folgen ein Ionenaustauscher sowie eine Membran-Elektrolyse. Aus der so gewonnenen Lithiumhydroxidlösung kann Lithiumhydroxid-Monohydrat ($\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$) ausgefällt werden. Durch die Zugabe von Na_2CO_3 kann aber auch Lithiumkarbonat hergestellt werden (NEOMETALS 2016).

Die TU Freiberg hat ein Verfahren zur Gewinnung von Lithiumkarbonat über den Prozess der Direktkarbonatisierung durch Laugung mit Wasser und scCO_2 im Autoklaven aus dem Mineral Zinnwaldit entwickelt.

Bei diesem Prozess wird das Zinnwaldit-Konzentrat ($< 500 \mu\text{m}$) auf ca. $900\text{--}1.000 \text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt. Neben gasförmigem Siliciumtetrafluorid (SiF_4), welches auf diese Weise aus dem Material entfernt wird, kommt es zu einer Phasenumwandlung und der Bildung von β -Spodumen, welcher in Säuren leicht löslich ist. Siliciumtetrafluorid (SiF_4) kann mit HF

zu H_2SiF_6 umgesetzt werden. Unter Zugabe von scCO_2 und Wasser als Laugungsmedium (Kohlensäure) kann das im β -Spodumen enthaltene Lithium in Lithiumhydrogenkarbonat überführt werden. Durch Elektrodialyse lässt sich die gering konzentrierte Lithiumhydrogenkarbonatlösung anreichern. Durch eine anschließende Erhitzung entweicht das CO_2 und es entsteht Lithiumkarbonat, welches sich einfach abtrennen lässt.

Wichtige Haupteinflussparameter der anschließenden Karbonatisierung stellen neben der Laugungsdauer auch der CO_2 -Partialdruck, das Fest/Flüssig-Verhältnis, die Korngröße des β -Spodumens sowie die Laugungstemperatur dar. Aus wirtschaftlicher Sicht sind die folgenden Aufschlussparameter sinnvoll: Doppellaugung, Fest/Flüssig-Verhältnis = $1 : 30$, $230 \text{ }^\circ\text{C}$, 100 bar , 3 h , mittlere Korngröße $< 20 \mu\text{m}$. Unter diesen Bedingungen werden keine weiteren Chemikalien (Natronlauge, Soda) wie bei klassischen Aufbereitungsverfahren (s. o.) für die Fällung von Begleitkomponenten und Li_2CO_3 benötigt (MARTIN et al. 2017).

Durch diesen Prozess wird eine gering konzentrierte Lithiumhydrogenkarbonat-Lösung ($2,5\text{--}4,0 \text{ g/L LiHCO}_3$) hergestellt. Zur Konzentrierung der Lösung wird auf den Prozess der Elektrodialyse, ein energetisch hocheffektiver Membranprozess von Lösungen mit niedrigen

Salzfrachten, zurückgegriffen. Durch die niedrige Betriebstemperatur ($< 35\text{ °C}$) lässt sich die Lösung gut anreichern. In einem weiteren Prozessschritt wird die angereicherte Lösung auf Temperaturen $> 80\text{ °C}$ erhitzt, wobei unter CO_2 -Abspaltung geringes lösliches Lithiumkarbonat in hohen Reinheiten ($> 99\%$) ausfällt und durch Filtration abgetrennt werden kann (Abb. 4). Das freigesetzte CO_2 kann für einen erneuten Aufschluss im Kreislauf verwendet werden. Als Lithium-haltige Ausgangsmaterialien eignen sich neben Zinnwaldit auch Spodumen, Lepidolith und Petalit sowie Lithium-haltige Batterien (Schwarzmasse). Je nach Ausgangsmaterial können die Begleitkomponenten wie SiO_2 , Fe_2O_3 , H_2SiF_6 und Al_2O_3 in anderen Bereichen als Rohstoffe eingesetzt werden.

Die genannten Produktionsprozesse (s. o.) sind auf die Umwandlung von α -Spodumen in β -Spodumen bzw. die Bildung von β -Spodumen und die anschließende Verwendung von Säuren angewiesen, um Lithium zu gewinnen. Dieser Teil des Herstellungsprozesses ist energie- und damit entsprechend kostenintensiv.

Das deutsche Unternehmen K-Utec Salt-Technologies hat ebenfalls ein Verfahren zur Gewinnung von Lithiumkarbonat aus dem Mineral Zinnwaldit

erarbeitet, bei dem die sonst hohen initialen Temperaturen nicht notwendig sind.

Einen anderen Ansatz verfolgt z. B. das Unternehmen Lithium Australia mit seinem SiLeach™-Prozess. Nach Angaben des Unternehmens kann dieser Prozess mit geringfügigen Modifikationen auf unterschiedliche Lithiumquellen wie bspw. α -Spodumen, Lepidolith, Jadarit, Zinnwaldit sowie einige Lithium-haltige Tone angewendet werden. Laut LITHIUM AUSTRALIA (2017a) konnte in der Demonstrationsanlage Lithiumkarbonat mit einer Reinheit von 99,8 % hergestellt werden. Das dafür verwendete Konzentrat aus Pilgangoora (Western Australia) hatte dabei einen unterdurchschnittlichen Li_2O -Gehalt von 3,4 %. Die Lithium-haltigen Ausgangsmaterialien werden mit H_2SO_4 , Wasserdampf und unterschiedlichen Halogenen versetzt, um diese hydrometallurgisch aufzuschließen. Dieser Prozess findet unter Normalatmosphäre und ca. 90 °C statt.

Das Unternehmen Lepidico verfolgt in seinem zum Patent angemeldeten proprietären Prozess L-Max™ die Gewinnung von Lithium aus den Mineralen Zinnwaldit, Lepidolit und Aamblygonit. Dieser hydrometallurgische Prozess findet unter Normalatmosphäre und ca. $95\text{–}115\text{ °C}$ statt. Die



Abb. 5: Solarevaporationsbecken der Firma Albemarle (Rockwood LITHIUM Ltda.) im Salar de Atacama (Chile) (BGR 2016).

aufgemahlen Ausgangsprodukte wie bspw. Zinnwaldit werden mit H_2SO_4 versetzt, um das Lithium zu laugen. Aus dieser Lösung wird Lithium dann in Form von Lithiumkarbonat ausgefällt. Als Nebenprodukte fallen in diesem Prozess K_2SO_4 , Na_2SiO_3 , CaSO_4 und HCOOC an (LEPIDICO 2017).

Gewinnung aus Sole: Die Gewinnung von Lithium aus Solen findet vorrangig im sogenannten „Lithium Triangle“ in Südamerika statt. Dabei handelt es sich um ein Gebiet zwischen Chile, Argentinien und Bolivien. Einzelne Vorkommen gibt es auch in Peru. Darüber hinaus werden Lithium-haltige Solen in den USA (Nevada) und China (Tibet) gefördert und verarbeitet.

Traditionell werden diese Solen durch Bohrlöcher an die Oberfläche gepumpt und in einem ersten Schritt in nacheinander geschalteten Evaporationsbecken durch Sonnenenergie aufkonzentriert. Ziel ist es, störende Inhalte (Karbonate, Sulfate, Salze) durch fraktionierte Kristallisation zu entfernen und gleichzeitig den Lithiumgehalt auf etwa 6 % zu erhöhen.

Je nach Vorkommen unterscheiden sich die geförderten Solen in ihren chemischen Zusammensetzungen (siehe Tab. 4). Somit unterscheiden sich auch die nachgelagerten Prozessschritte bis zum fertigen Zwischenprodukt (Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid, Lithiumchlorid usw.) von Vorkommen zu Vorkommen. Sogar innerhalb einzelner Vorkommen unterscheiden sich die Solen je nach Bohrlochtiefe und -lage. Prinzipiell gilt, die Menge an Verunreinigungen wie bspw. Mg, K, Na, SO_4 u. a. bestimmt den technischen Aufwand, der notwendig ist, um die gewünschten Lithiumprodukte in der entsprechenden Reinheit herstellen zu können. Somit stellen diese Verunreinigungen durchaus einen wichtigen Kostenfaktor in der Produktion dar. Generell sind Solen wünschenswert, die geringe Mg/Li und geringe SO_4 /Li aufweisen (Abb. 29).

Die folgende Prozessdarstellung bezieht sich auf die Vorkommen im Salar de Atacama und das Unternehmen Rockwood Lithium (Albemarle). Vergleichbare, jedoch geringfügig abgewandelte Prozesse werden von Unternehmen wie SQM, Orocobre und FMC verwendet. Bei dem Unternehmen FMC (Salar de Hombre Muerto, Argentinien) wird dem Evaporationsprozess noch eine

zusätzliche Adsorptionsanlage vorgeschaltet, um störende Verunreinigungen zu entfernen.

Im Salar de Atacama liegt der initiale Lithiumgehalt bei ca. 0,15 %. Durch die Aufkonzentrierung vor Ort kann ein Gehalt von rund 6 % erreicht werden, was eine ökonomische Weiterverarbeitung ermöglicht. Der Vorteil dieses ersten Prozessschrittes ist, dass hier aufgrund der geografischen Lage Sonnenenergie verwendet werden kann. Jedoch benötigt der Prozess, abhängig von der Lokalität, bis zu 18 Monate. Ein weiterer Nachteil ist, dass in diesem Prozess deutlich weniger als 60 % des enthaltenen Lithiums gewonnen werden können.

In einer Reihe von nacheinander geschalteten Evaporationsbecken werden aus der Sole mit zunehmender Löslichkeit Sulfate, Halide und zuletzt Kali- und Magnesiumsalze ausgefällt (Abb. 6). Um diesen Prozess effizient zu gestalten, werden die Solen von Becken zu Becken gepumpt und die ausgefallenen Minerale abgetrennt und aufgehaldet. Einige dieser Salze wie z. B. das seltene und stark hygroskopische Magnesiumsalz Bischofit ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) werden vor ihrer Deponierung zwischengelagert, um anhaftende Lithium-haltige Sole rückzugewinnen. Diese wird dann dem Kreislauf wieder zugeführt. Zusätzlich kann Lithium in dem Mineral Bischofit anstelle von Magnesium eingebaut und somit der Sole entzogen werden (SONG et al. 2017).

Die gewonnene mit Lithium angereicherte Sole wird dann in einer großtechnischen Anlage (La Negra) weiterverarbeitet. In einem ersten Schritt wird mittels Solvent-Extraktion das enthaltene Bor entfernt, da es zu Verunreinigungen in den finalen Produkten führen würde. Dies geschieht mit einem Gemisch aus Kerosin und einem primären Alkohol (Iso-octanol, 2-Ethylhexanol). Hierzu wird die Sole mit HCl auf einen pH-Wert von etwa 2 eingestellt und in etwa im Verhältnis 1 : 4 mit dem Lösungsmittel versetzt (GARRET 2004).

Die so von Bor befreite Sole wird nachfolgend mit CaO versetzt, um noch enthaltenes Magnesium und Sulfat zu entfernen. Durch den Zusatz von Na_2CO_3 (calcinierteres Soda, Waschsoda) werden letzte Reste von Magnesium und Kalzium entfernt. Ausfällungsprodukte sind: MgCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, CaSO_4 und CaCO_3 . Die so gewonnene Sole wird aufgeheizt und mit calciniertem Soda versetzt. Dadurch wird Lithiumkarbonat ausgefällt (Abb. 6).

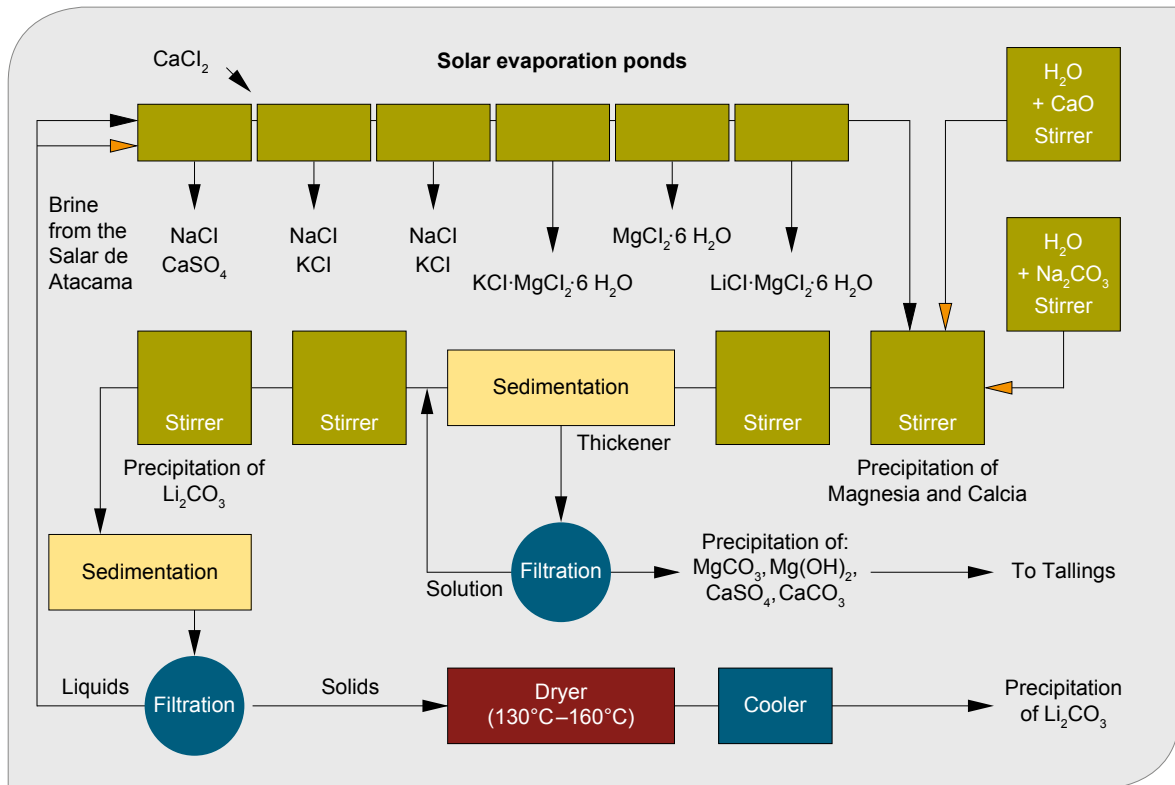


Abb. 6: Flussdiagramm zur Produktion von Lithiumkarbonat aus Lithium-haltigen Solen (Beispiel: Albemarle Chile) (modifiziert nach Garret 2004).

Nach einem Wasch- und Trocknungsprozess kann dieses Produkt bereits vermarktet werden (Abb. 7). Das Prozesswasser (abgereicherte Sole) wird dem Kreislauf wieder zugeführt, da es immer noch Lithium enthält. Durch alternative Prozessschritte kann die Reinheit des Lithiumkarbonates bis auf „Battery Grade“ gesteigert werden. Alternativ kann aus der Sole auch direkt Lithiumchlorid hergestellt werden. Dieses Lithiumchlorid kann darüber hinaus zur Herstellung von hochreinem Lithiumkarbonat verwendet werden (GARRET 2004).

Neben diesem etablierten Produktionsprozess gibt es neue Ansätze zur Lithiumgewinnung aus Lithium-haltigen Solen. Diese basieren zum überwiegenden Teil auf dem Prozess der Solvent-Extraktion und fokussieren auf die direkte Gewinnung von Lithium bzw. Lithiumverbindungen ohne die Verwendung von Evaporationsbecken. Somit könnten die Produkte einerseits schneller hergestellt und auf der anderen Seite die von Verunreinigungen entsprechend gereinigten Restsolen wieder in den Untergrund verbracht werden, was sich positiv auf den Gesamtwasserhaushalt der Salare auswirken würde.

Einer dieser neuen Prozesse wurde z. B. von dem Unternehmen Tenova Bateman Technologies (TBT) entwickelt. In einem ersten Schritt (LiP™) werden hier Kalzium und Magnesium durch Membranen entfernt. Der nachgeschaltete Prozess (LiX™) entfernt Lithium durch ein organisches Lösungsmittel und funktioniert bei Solen mit einem



Abb. 7: Lithiumkarbonat der Firma Albemarle aus der Anlage La Negra (BGR 2017). des tres Quebradas, Argentinien) (BGR 2016).

Mindestgehalt an Lithium von > 5 ppm. Der Prozess zeichnet sich im Vergleich zu der Solarevaporationsmethode durch eine sehr hohe Effizienz aus (> 90 %). Das mit Lithium angereicherte Lösungsmittel wird mit unterschiedlichen starken Säuren versetzt, um Lithiumsalze auszufällen. Nach einer notwendigen Reinigung kann das Lösungsmittel wieder eingesetzt werden. Der ganze Prozess dauert nur wenige Stunden und die abgereicherte und gereinigte Sole kann re-injiziert werden. Darüber hinaus ist diese Methode wetterunabhängig und hochvariabel (PURE ENERGY MINERALS 2017).

Darüber hinaus haben Unternehmen wie Eramet, Enrgi, Enerrex und Posco Verfahren entwickelt bzw. Verfahren angekündigt, in denen Lithium direkt aus Solen gewonnen werden soll. All diese Verfahren, inkl. des Prozesses von Tenova Bate-man, müssen, um erfolgreich eingesetzt zu werden, langzeitstabil und verlässlich funktionieren. Darüber hinaus müssen die Produktionskosten konkurrenzfähig zu den bereits etablierten Methoden sein. Dies gilt auch für die Gewinnung von Lithium aus Festgesteinsvorkommen über alternative Verfahren (s. o.).

1.3 Verwendung

Aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften findet Lithium in vielen unterschiedlichen Bereichen Anwendung. Es stechen dabei jedoch zwei Hauptanwendungsgebiete hervor. Der mit Abstand wichtigste Verwendungszweck von Lithium liegt im Bereich der wiederaufladbaren Batterien (Abb. 8). Dieser Bereich machte 2015 in Summe etwa 37 % der Verwendung aus und kann in vier Unterkategorien aufgeteilt werden.

Den größten Anteil an diesen Batterien hatte 2015 der Bereich 3C (Computing, Communication, Consumer). In diese Kategorie fallen Produkte wie bspw. Laptops, Tablets, Smartphones, Smartwatches. Es folgt der Bereich E-Mobilität, also Batterien für die Verwendung in E-Fahrzeugen (Battery-Electric-Vehicle, BEV) bzw. unterschiedlichen Hybridfahrzeugen (Plug-in-Hybrid-Vehicle, PHEV; Hybrid-Electric-Vehicle, HEV). Die Bereiche E-Speicher (Energy-Storage-Systems, ESS) für erneuerbare Energien und Powertools/Motive spielen hierbei noch eine untergeordnete Rolle. In den Bereich Powertools/Motive fallen z. B. Produkte wie E-Bikes, E-Trikes, Gartengeräte, Werkzeuge usw.

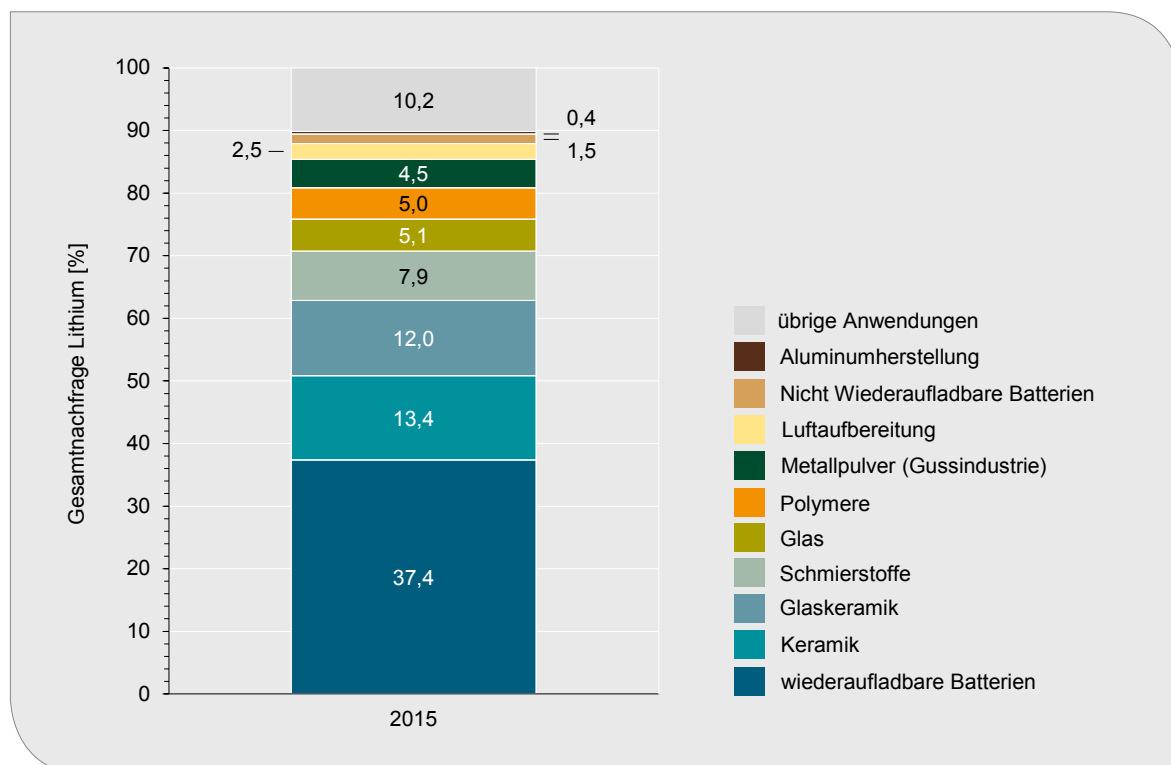


Abb. 8: Verwendungsgebiete von Lithium (Datenquelle: ROSKILL 2016a, USGS 2016).

Der zweite wichtige Verwendungsbereich von Lithium liegt im Bereich der Glas- und Keramikindustrie (Abb. 8). Kumuliert macht dieser Bereich ca. 30,5 % der Verwendung aus. Eine weitere Unterteilung erfolgt hier in die Bereiche Keramik (13,4 %), Glaskeramik (12 %) und Glas (5,1 %). In der Keramikindustrie wird Lithium in Form von Lithiumkarbonat oder als Spodumen-Konzentrat bzw. Petalit/Lepidolith-Konzentrat als Flussmittel eingesetzt.

Weitere Verwendung findet Lithium als Bestandteil in Schmierfetten, als Pulver in der Stranggussindustrie, als Polymer in der pharmazeutischen Industrie, in der Luftaufbereitung, als Bestandteil nicht-wiederaufladbarer Batterien (z. B. Knopfzellen) und in der Aluminiumschmelze (Abb. 8).

Wiederaufladbare Batterien (LIB)

Dieser komplexe Anwendungsbereich hat in den letzten Jahren einen starken Wachstumsschub erlebt. Der wichtigste Treiber hierbei ist im Bereich der E-Mobilität sowie stationären Speicherung erneuerbarer Energien zu suchen.

Lithium stellt bei den aktuellen Batterietechnologien aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften

eine essenzielle Komponente dar. So hat Lithium das höchste elektrochemische Potenzial der Metalle ($-3,05\text{ V}$) sowie die höchste Kapazität (3.860 Ah/kg) (Kap. 1.1, Tab. 1). Im Vergleich zu anderen Batterietypen weist die Lithium-Ionen-Batterietechnologie die höchste Energiedichte (ca. 250 Wh/kg), die längste Zyklenlebensdauer, den weitesten Temperatureinsatzbereich und die geringsten Selbstentladeraten ($1-2\text{ %/a}$) auf (BAUER 2017).

Lithium findet sich hauptsächlich als aktives Material in der positiven Elektrode (Kathode), aber auch im Elektrolyt und untergeordnet in der negativen Elektrode (Anode, z. B. Lithium-Titanat-Anoden).

Der typische Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie (LIB) besteht aus einer Wechsellagerung von Anode - Separator - Kathode - Separator. Dieses Paket wird dann, je nach Zellformat, gewickelt, geschichtet oder gefaltet und in das Gehäuse eingeführt. Nach dem Einfüllen des Elektrolyts wird die Zelle formatiert. Diese erste Ladung der Zelle bewirkt die Ausbildung der Solid Electrolyte Interphase. Diese ist notwendig, um die Zersetzung der Anode durch den Elektrolyt zu verhindern (BAUER 2017).

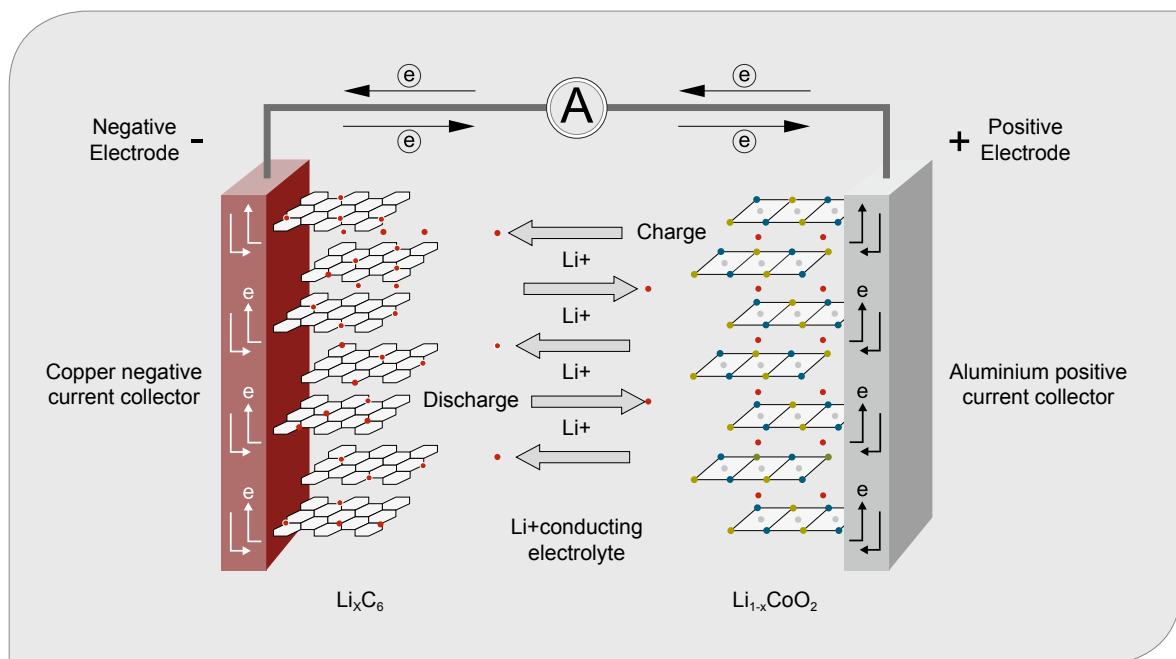


Abb. 9: Schematischer Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie (modifiziert nach MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016).

Je nach verwendetem Anoden-, Kathoden- oder Separatormaterial erhält man unterschiedliche Energiedichten, Leistungsdichten, Nennspannungen und Ladezyklen der Zellen. Eine geladene Lithium-Ionen-Batterie funktioniert nach dem Prinzip der elektrischen Potenzialdifferenz von positiver und negativer Elektrode. Hierbei findet ein elektrochemischer Prozess mit Stoffänderung der Elektroden statt. Dadurch wird Strom erzeugt. In einer solchen Zelle wandern positive Lithiumionen (Li^+) frei in einem Elektrolyten (fest, gelartig) zwischen beiden Elektroden.

Bei Entladung der Zelle wandern Li^+ -Ionen von der positiven Elektrode zur negativ geladenen Elektrode und Elektronen von der negativ geladenen Elektrode zur positiv geladenen Elektrode (Abb. 9). Beim Laden findet der umgekehrte Prozess statt. Im Folgenden wird die positiv geladene Elektrode als Kathode und die negativ geladene Elektrode als Anode bezeichnet.

Das aktive Material wird aktuell basierend auf Lithium hergestellt und genutzt. Es handelt sich dabei meist um dünnste Folien aus Aluminium, die mit dem pastösen Kathodenmaterial beschichtet werden. Dieses Kathodenmaterial hat die besondere Eigenschaft der Interkalation (lat.: inercalare = einschieben). Das bedeutet, dass durch die Struktur

„Gastionen“, in diesem Fall Li^+ , reversibel eingebaut werden können, ohne die Struktur des Kathodenmaterials zu verändern. Als aktives Material kommen Übergangsmetalloxide, Metallchalcogenide oder polyanionische Verbindungen infrage. Aktuell werden die folgenden Verbindungen für Kathoden in LIB genutzt (Abb. 10). Dabei handelt es sich, bis auf LFP, um Übergangsmetalloxide.

- Lithium-Kobalt-Oxide (LCO)
- Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt Oxide (NMC)
- Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxide (NCA)
- Lithium-Mangan-Oxide (LMO)
- Lithium-Eisen-Phosphate (LFP)

Lithium-Kobalt-Oxide (LCO): Dieser Zelltyp geht auf Entwicklungen von Sony im Jahr 1991 zurück und zeichnet sich durch eine hohe spezifische Energiedichte aus. Demgegenüber stehen eine relativ geringe Lebensdauer, eine geringe thermische Stabilität sowie Limitierungen bezüglich des maximalen Ladestroms (Tab. 5). LCO-basierte LIB können nur mit ihrem maximalen C-Rating (max. Entladestrom) geladen und entladen werden. Bei einer 18650 Standardzelle entspricht das in etwa 2.400 mAh.

Diese Zellen bestehen aus einer Kobaltoxidkathode und einer Grafitanode. Der Kobaltgehalt liegt

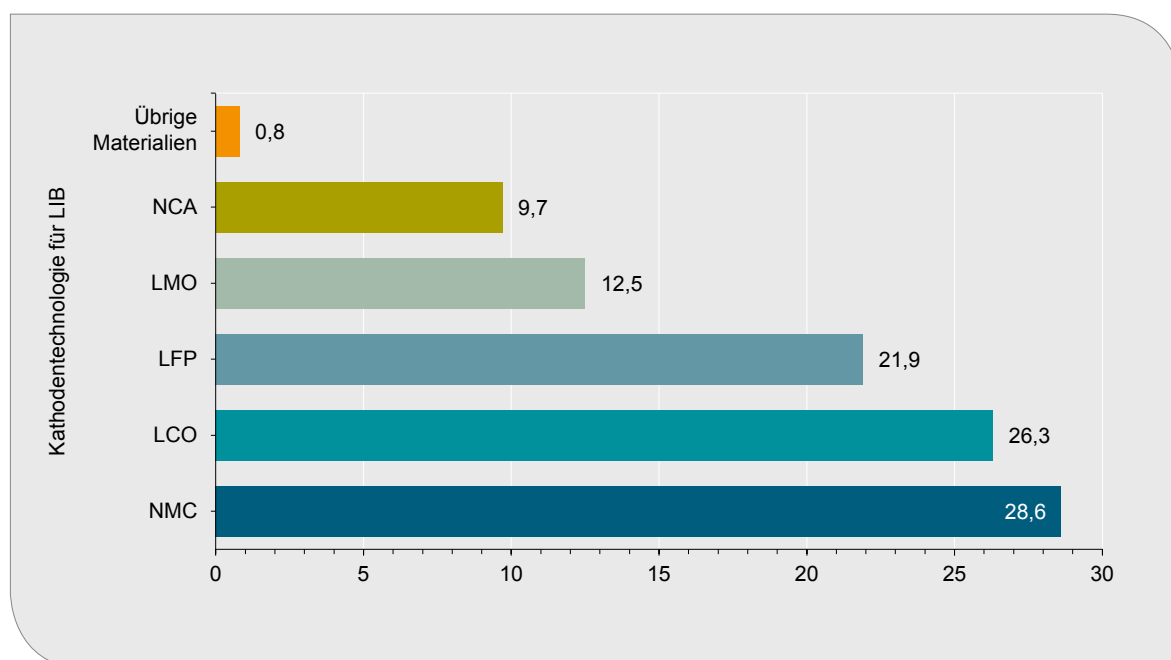


Abb. 10: Anteile der genutzten Kathodenmaterialien in LIB im Jahr 2015
(Datenquelle: ROSKILL 2016b).

im Schnitt bei 60 %, was diesen Zellentyp relativ teuer macht. Zusätzlich zu den anderen genannten Eigenschaften ist auch dies ein Grund, warum LIB, basierend auf LCO, in den letzten Jahren durch neue Kathodenformulierungen ersetzt wurden.

Tab. 5: Eigenschaften LCO (Lithium-dotiertes Kobalt-Oxid)
(Datenquelle: Bauer 2017).

Eigenschaften LiCoO_2
Kritische Schichtstruktur
Durchschnittliches Spannungspotenzial von 3,7 V
Moderate Kapazität von 150 mAh/g
Moderate Lebensdauer 300–500 Zyklen (Restkapazität = 60 %)
Hohe Temperaturentwicklung bei hohem Spannungszustand
Geringe Entladestromstärke (1–2 C)
Sicherheitsproblematik
Steigende Kosten für Kobalt

Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxide (NMC): Eine relativ neue Technologie stellt die NMC-Kathode dar. Hierbei handelt es sich um eine Nickel-Mangan-Kobaltoxid-Kathode. Kommerziell wird diese Technologie seit etwa 2008 genutzt. Sie zeichnet sich durch eine relativ hohe spezifische Energiedichte aus. Ihre thermische Stabilität ist im Vergleich zu LCO deutlich besser. Gleiches gilt für die Lebensdauer und die geringeren Produktionskosten aufgrund niedrigerer Kobaltgehalte (Tab. 6).

Die Charakteristik dieses Typs kann durch die Variation des Ni-Mn-Co-Verhältnisses variiert werden. Eine kostengünstige Variante stellt bspw. die 1:1:1-NMC-Kathode dar, in der alle drei Metalle im gleichen Verhältnis eingesetzt werden. Eine

Tab. 6: Eigenschaften NMC (Lithium-dotiertes Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid)
(Datenquelle: BAUER 2017).

Eigenschaften $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$
Durchschnittliches Spannungspotenzial von 3,8 V
Moderate Kapazität 130–160 mAh/g
Moderate Lebensdauer
Gute Zyklenfestigkeit
Günstige Produktionskosten
Hohe Eigensicherheit
Moderate Entladestromstärke (1–10 C)

abweichende Kombination ist 5 : 2 : 3. Es besteht auch die Möglichkeit, innerhalb von komplexen Batteriesystemen die Zusammensetzung einzelner Zellen zu variieren, um unterschiedliche Anforderungsprofile erfüllen zu können. Gerade im Bereich E-Mobilität und ESS finden LIB, basierend auf NMC-Kathoden, breite Anwendung.

Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxide (NCA): Seit etwa 1999 werden Lithiumzellen basierend auf NCA-Kathoden eingesetzt. Die Eigenschaften dieser Formulierung sind vergleichbar zu NMC-Kathoden (Tab. 7). Die thermische Stabilität ist im Vergleich zu NMC geringer bei gleichzeitig höheren Produktionskosten. Auch dieser Typ kann im Bereich Automotive eingesetzt werden. So basieren z. B. die Lithiumzellen in Modellen des Herstellers Tesla auf dieser Technologie.

Lithium-Mangan-Oxide (LMO): Dieser Typ wird seit etwa 1996 kommerziell genutzt. Während LCO-Kathoden eine planare Struktur aufweisen, handelt es sich bei LMO-Kathoden um dreidimensionale Strukturen (Spinell). Dadurch wird der Ladungstransport innerhalb der LIB deutlich verbessert. Somit sinkt der innere Widerstand und diese Zellen können schneller geladen werden.

Tab. 7: Eigenschaften NCA (Lithium-dotiertes Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid)
(Datenquelle: BAUER 2017).

Eigenschaften $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$
Mittleres Spannungspotenzial 3,6–3,7 V
Hohe Kapazität von 190 mAh/g
Moderate Entladestromstärke (1–10 C)
Moderate Lebensdauer 500–1.000 Zyklen (Restkapazität = 60 %)

Tab. 8: Eigenschaften LMO (Lithium-dotiertes Mangan-Oxid)
(Datenquelle: BAUER 2017).

Eigenschaften LiMn_2O_4
Durchschnittliches Spannungspotenzial von 3,9 V
Moderate Kapazität von 120 mAh/g
Mittelhohe Lebensdauer 1.000–1.500 Zyklen (Restkapazität = 60 %)
Günstige Materialkosten
Höhere Temperaturbeständigkeit
Hohe Entladestromstärke (3–15 C)

Tab. 9: Eigenschaften LFP (Lithium-Phosphat)
(Datenquelle: BAUER 2017).

Eigenschaften LiFePO_4
Sehr hohe thermische Stabilität
Niedriges Spannungspotenzial von 3,2 V
Mittelhohe Kapazität von 160 mAh/g
Hohe Lebensdauer
Sehr gute Zyklenfestigkeit 2.000–5.000 (Restkapazität = 60 %)
Günstige Produktionskosten

Weiterhin zeichnen sich Zellen auf Basis von LMO-Kathoden durch eine höhere thermische Stabilität und somit Sicherheit aus (Tab. 8). Durch die Variation des Chemismus und der Kombination mit anderen Kathodentypen kann eine vielseitig nutzbare Batterietechnologie hergestellt werden. Einige Autohersteller verwenden daher in ihren Fahrzeugen Batterien, die eine Kombination aus LMO-Zellen (Schnellentladung) und NMC-Zellen (Kapazität) darstellen.

Lithium-Eisen-Phosphate (LFP): LIB, basierend auf LFP, zeichnen sich durch eine hohe Stromabgabe und Stabilität bezogen auf die Ladezyklen aus (Tab. 9). Darüber hinaus ist ihre thermische Stabilität sehr gut. Da die spezifische Energiedichte jedoch nur mittelmäßig ist, eignet sich diese Technologie nicht für reine E-Antriebe, jedoch

Tab. 10: Eigenschaften LTO (Lithium-Titanat)
(Datenquelle: BAUER 2017).

Eigenschaften $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Hohe Materialkosten
Geringe Oberfläche von ca. 100 m ² /g
Moderate Kapazität von 150 mAh/g
Hochstromfähig
Geringe Volumenänderung bei Interkalation
Hohe Zyklenzahl
Niedriges Spannungspotenzial
Hohe Eigensicherheit (innerer Kurzschluss ausgeschlossen)

könnte sie eine Alternative für Starterbatterien und ESS-Applikationen darstellen. Kommerziell genutzt werden solche LIB seit etwa 2000.

Lithium-Titanat (LTO): Abweichend zu den bisher genannten Technologien findet sich Lithium bei diesem Zelltyp nicht in der positiven Elektrode (Kathode), sondern vielmehr in der negativen Elektrode (Anode). Das aktive Kathodenmaterial basiert bei diesen Zellen meist auf LFP oder LMO (s. o.).

Als Anodenmaterialien kommt in Lithium-Ionen-Batterien (LIB) hauptsächlich Graphit bzw. graphitbasierte Stoffe zum Einsatz (Abb. 11). Das aktive Anodenmaterial wird beidseitig auf eine sehr

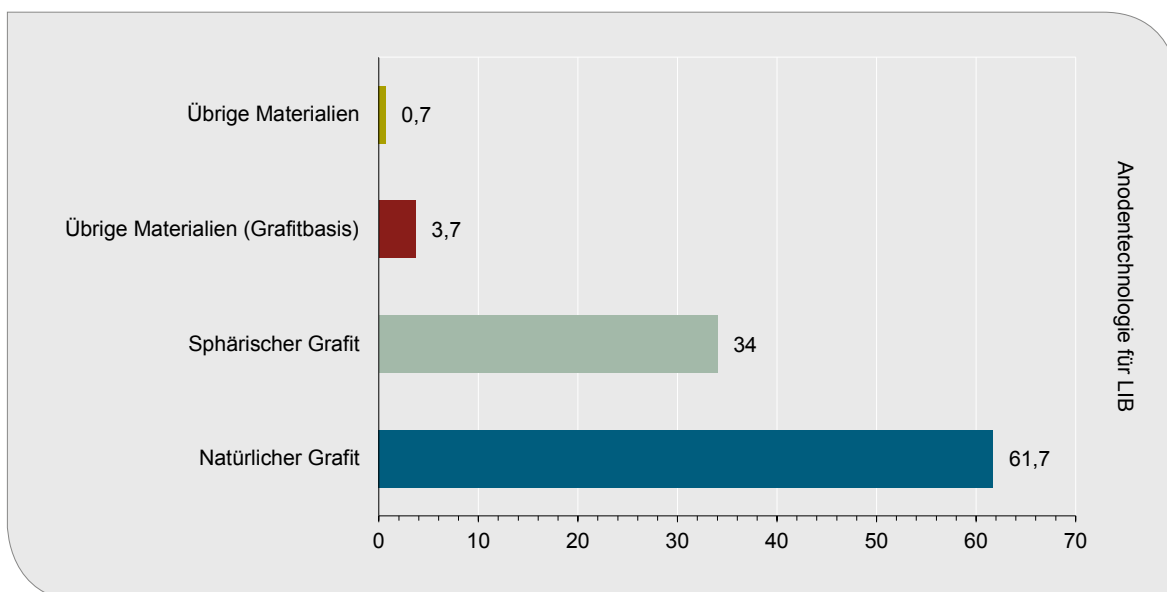


Abb. 11: Anteile der genutzten Anodenmaterialien 2015 in LIB (Datenquelle: ROSKILL 2016b).

dünne Kupferfolie aufgetragen. Bei Zellen, basierend auf LTO, besteht die Anode aus Lithium-Titanat. Andere mögliche Alternativen stellen Anoden, basierend auf Grafit/Silizium und Grafit/Zinn, dar (BAUER 2017).

Der flüssige oder gelartige Elektrolyt wirkt in LIB als Katalysator und Medium, in dem Ionen zwischen den beiden Elektroden ausgetauscht werden. Elektrolyte sind organische Verbindungen, in denen Substanzen (Salze) gelöst vorliegen. Als solche Elektrolytsalze werden hauptsächlich Lithiumhexafluorphosphat (LiPF_6) oder Lithiumtetrafluorbromat (LiBF_4) verwendet. Darüber hinaus kommen Verbindungen wie LiCF_3SO_3 oder $\text{Li}(\text{SO}_2)_2\text{CF}_3$ zum Einsatz (ZENG et al. 2014). Diese Grundbestandteile werden häufig mit anderen Komponenten gemischt und spezifisch auf den jeweiligen Elektrodenchemismus ausgerichtet. Elektrolyte für Pouch-LIBs sind meist gelartig und enthalten zusätzlich Polymere.

Als Formfaktoren werden neben zylindrischen Zellen (z. B. 18650, 21700, 26650) vor allem Pouch-Zellen (Coffee-Bag) sowie prismatische Zellformate in den unterschiedlichsten Größen anwendungsspezifisch verwendet.

Zylindrische Zellen stellen dabei die mit Abstand häufigste Bauform dar, da sie einfach und kosten-

günstig zu produzieren sind. Das häufigste Format sind Zellen vom Typ 18650 (18 mm × 65 mm). Spezielle Zellen dieses Formats werden z. B. von dem US-Hersteller Tesla Motors eingesetzt. Je nach Batterieleistung des Fahrzeugs befinden sich bis zu 9.000 solcher Zellen in einem Fahrzeug. Für künftige Modelle hat der Hersteller zusammen mit Panasonic ein neues Zellformat (21700) mit den Maßen 21 mm × 70 mm entwickelt, welches sich durch eine höhere Energiedichte auszeichnet. Im Vergleich zu einer 18650 Zelle weist eine 21700 Zelle die doppelte Kapazität (Ø 6.000 mAh) bei nur rund 50 % mehr Volumen (97 cm³) auf (BATTERY UNIVERSITY 2017).

Vorteile dieses Zelltyps sind: niedrige Produktionskosten, hohe mechanische Stabilität, umfassende Sicherheitsmechanismen und gute Kontaktierbarkeit (BAUER 2017). Nachteile dieser Zellen sind ihr hohes Gewicht pro Zelle von ca. 40 bis 50 g und eine geringe Packungsdichte aufgrund der Bauform (WANG et al. 2014). Zusätzlich zeichnen sie sich auf Zellenebene durch eine schlechte Wärmeabfuhr aufgrund der geringen Oberfläche sowie einer geringeren Skalierbarkeit aufgrund standardisierter Formate aus (BAUER 2017). Aufgrund der Packungsdichte und den damit verbundenen Freiräumen gestaltet sich das Thermomanagement von Batterypacks basierend auf zylindrischen Zellen jedoch einfacher als bspw. bei prismatischen



Abb. 12: Pouch-Lithium-Ionen-Zelle mit einer Kapazität von 4.000 mA (BGR 2017).

Zellen. Zylindrische Zellen werden u. a. in Werkzeugen, medizinischen Instrumenten, Laptops (ältere Generationen) und E-Bikes verwendet (ROSKILL 2016b).

Pouch-Zellen (Abb. 12) verfügen im direkten Vergleich zu zylindrischen Formaten bzw. prismatischen Zellen nicht über ein stabilisierendes Gehäuse. Sie sind meist in einer flexiblen Kunststoffhülle luftdicht eingeschweißt. Durch diese Konstruktion zeichnen sich diese Zellen durch ein geringeres Gewicht und geringeres Volumen bei gleichem Energieinhalt aus.

Weitere Vorteile sind: leichte und flexible Zellbauweise, gute Wärmeabfuhr und eine Fertigung nach Kundenspezifikation (BAUER 2017). Zellen dieses Bautyps sind jedoch sehr empfindlich gegenüber mechanischer Belastung und müssen strukturell geschützt verbaut werden. Weitere Nachteile sind: großer Innenwiderstand (bei Festpolymeren), Zellvolumen ändert sich bei Entladung (Swelling), Gefahr der Delamination, Gefahr des vorzeitigen Alterns (BAUER 2017). Eingesetzt werden solche Zellen ebenfalls in Smartphones, Tablets und Laptops.

Prismatische Zellen werden in Smartphones, Tablets, Laptops, aber auch in E-Antrieben von Fahrzeugen eingesetzt. Ihr großer Vorteil liegt in der kompakten Bauweise und frei konfigurierbaren Formaten. Aufgrund ihres Formats gestaltet sich die Wärmeabfuhr einfacher als bei zylindrischen Zellen. Im Vergleich zu zylindrischen Zellen ist ihre Herstellung aber teurer bei gleichzeitig geringerer Lebensdauer. Je nach Anwendung kann auch das Thema Thermomanagement eine Rolle spielen. Größere Zellen werden in Aluminiumgehäuse eingeschweißt. Typische Kapazitäten einzelner Zellen liegen zwischen 20–50 Ah.

Keramik, Glaskeramik, Glas

Zusammengefasst stellen die drei Bereiche Keramik, Glaskeramik und Glas den zweitwichtigsten Verwendungszweig für Lithium dar.

Keramikindustrie

In diesem Bereich wird Lithium als Flussmittel in der Produktion von Glasuren und von keramischen Produkten (Fliesen, Sanitärgegenstände,

Geschirr usw.) eingesetzt. Im Bereich der Glasuren bzw. Emaille hat Lithium die folgenden positiven Effekte: Erhöhung von Glanz, Erhöhung der Leuchtkraft, Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien und Abrasion sowie Verringerung der Viskosität der Glasur. Lithium kann darüber hinaus als Ersatz für Bleioxid, Zinkoxid und Bariumkarbonat dienen. In keramischen Körpern wird durch den Einsatz von Lithium die Brenntemperatur gesenkt und die Brenndauer verkürzt. Zusätzlich wirkt sich der Einsatz von Lithium positiv auf das Ausdehnungsverhalten sowie die mechanische Widerstandsfähigkeit aus. Nach ROSKILL (2016a) werden in der keramischen Industrie 0,15–2,5 % Li_2O in Form von Spodumen, Petalit und Lepidolith eingesetzt. Petalit wird, wenn überhaupt, zusammen mit anderen Flussmitteln verwendet. Spodumen wird normalerweise vor der Zugabe kalziniert. Lepidolith kann direkt eingesetzt werden, ist jedoch aufgrund des Fluor-Gehaltes problematisch. Darüber hinaus kann auch Lithiumkarbonat zur Senkung des Schmelzpunktes genutzt werden. Spezielle Lithiumchemikalien wie Lithiumborate, Lithiumfluoride, Lithiumcitrate, Lithiumsulfat und Lithiummanganat werden ebenfalls für spezielle Anwendungen im Bereich der Keramikindustrie verwendet.

Glaskeramiken

Glaskeramiken sind Werkstoffe, die aus Glasmelzen durch eine gesteuerte Kristallisation produziert werden. Die glasigen Schmelzen werden durch eine spezielle Temperaturbehandlung in einen teilweise polykristallinen und teils glasigen keramischen Zustand gebracht. Das resultierende Produkt hat daher Eigenschaften eines Glases, aber auch Eigenschaften einer Keramik.

Eine wesentliche Eigenschaft von Glaskeramiken ist ein sehr geringer oder sogar negativer Wärmeausdehnungskoeffizient in unterschiedlichen Temperaturbereichen, wodurch ein Bruch durch Temperaturschock vermieden wird. Weitere Eigenschaften sind: hohe Temperatur- und Temperaturwechsel-beständigkeit, hohe mechanische Widerstandsfähigkeit, hohe Durchlässigkeit für Infrarotstrahlung.

Je nach Produktzusammensetzung lassen sich Glaskeramiken mit hervorragenden Thermochockeigenschaften realisieren. Durch das Mengenverhältnis der Glas- zur Kristallphase kann der

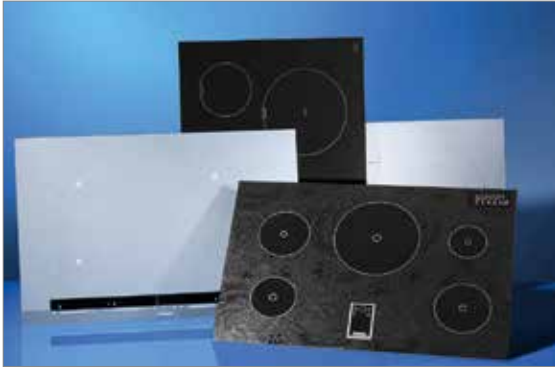


Abb. 13: Glascerankochfeld (mit frdl. Genehmigung: Schott AG 2017).

Wärmeausdehnungskoeffizient einer Glaskeramik an verschiedenste Anforderungen angepasst werden.

Wichtige Anwendungsgebiete sind Schutzgläser, Kochfelder, Kochgeschirr, Spiegelträger für Teleskope, Laborgeräte (Glaskeramikplatten). Ein typisches Produkt sind Ceran® Kochfelder der Firma Schott (Abb. 13: Glascerankochfeld (mit frdl. Genehmigung: Schott AG 2017)).

Es existieren am Markt unterschiedlichste glaskeramische Systeme, die auf die jeweiligen speziellen Anwendungen zugeschnitten sind. Die wichtigsten dieser Systeme sind: LAS (Li_2O , Al_2O_3 , SiO_2), MAS (MgO , Al_2O_3 , SiO_2) und ZAS (ZnO , Al_2O_3 , SiO_2). Diese Systeme können darüber hinaus weitere Oxide wie z. B. ZrO_2 , BaO , TiO_2 u. a. enthalten.

LAS-Systeme enthalten etwa 3–5 % Li_2O . Andere Glaskeramiken enthalten nur etwa 0,1–3 % Li_2O . Hergestellt werden LAS-Systeme aus Spodumen bzw. Petalit (75–95 %) und einem Aluminiumsilikatglas (5–25 %). Auch die Verwendung von Lithiumkarbonat ist möglich. Spodumen und Petalit werden meist für opake Produkte verwendet. Lithiumkarbonat wird demgegenüber eher in transparenten Produkten eingesetzt. Das entstehende Produkt besteht aus β -Quarz und β -Spodumen. Das genaue Verhältnis beider Phasen sowie der Anteil der kristallinen Phasen bestimmen die Eigenschaften des Produktes.

Glasindustrie

In der Glasindustrie wird Lithium in Form von Spodumen, Petalit oder Lithiumkarbonat genutzt. Spezielle Lithiumchemikalien (Chloride, Fluoride,

Phosphate, Silikate) können bei spezifischen Anwendungen ebenfalls eingesetzt werden. Falls Lithiumchemikalien eingesetzt werden, schwanken die Mengen abhängig von den Anforderungen der Produkte zum Teil beträchtlich. Darüber hinaus enthält nicht jedes Glasprodukt Lithium. Durch die Verwendung kann bspw. die Schmelzrate erhöht werden, da die Viskosität gesenkt wird. Generell sinkt die Schmelztemperatur, wodurch Energie eingespart werden kann. Zusätzlich wird die Blasenbildung in der Schmelze aufgrund der niedrigeren Viskosität gesenkt. Lithium-haltige Gläser zeichnen sich durch eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien aus.

Nach ROSKILL (2016a) können Gläser zwischen 0,1–0,7 % Li_2O enthalten. Die Firmen Talison Lithium (Australien) und Bikita Minerals (Simbabwe) liefern spezielle Lithium-haltige Konzentrate in die Glasindustrie. Diese zeichnen sich durch geringe Gehalte an Fe_2O_3 aus, welches in den Produkten zu ungewünschten Verfärbungen führen würde.

Schmierstoffe

In der Industrie werden neben normalen Schmierstoffen auch solche verwendet, die als aktive Bestandteile (Additive) Lithiumverbindungen enthalten. Solche Verbindungen werden als „Soaps“ bezeichnet und beinhalten hauptsächlich Lithiumstearate oder Lithium-12-hydroxystearate. Diese beiden Grundstoffe werden aus Lithiumhydroxid oder Lithiumkarbonat und Stearinsäure hergestellt. Weitere mögliche Lithiumverbindungen sind Di-Lithium-Azelaat, Lithium-Docosanoat, Lithium-Stearat u. a. (ROSKILL 2016a).

Hergestellt werden diese Schmierstoffe (Abb. 14) aus Ölen, Additiven und Verdickungsmitteln, welche die genannten Lithiumverbindungen enthalten. In den finalen Formulierungen sind in etwa 6–15 % dieser Verbindungen enthalten. Der Lithiumgehalt liegt entsprechend bei ca. 0,2–0,3 %. Solche Schmierstoffe haften besonders gut an Metallen und sind nicht korrosiv. Sie weisen Feuchtigkeit ab, oxidieren nicht und sind gut wärmebeständig. Neben einfachen Schmierstoffen gibt es darüber hinaus noch komplexe Varianten. Diese haben vergleichbare Eigenschaften wie die einfacheren Produkte, tolerieren jedoch höhere Temperaturen und sind langlebiger in ihren Schmiereigenschaften (ROSKILL 2016a). Eingesetzt werden solche

Schmierstoffe in der Automobilindustrie (z. B. Getriebe, Antriebswellen), der Landwirtschaft (Maschinen), in Baufahrzeugen, der Stahlindustrie und dem Bergbau. Etwa 70 % der in technischen Anwendungen verwendeten Schmierstoffe enthalten Lithium bzw. Lithiumverbindungen (DEUTSCHE BANK 2016).



Abb. 14: Lithium-enthaltender Schmierstoff
(Quelle: ©images-fotolia.com 2017).

Metallpulver (Strangguss, Formguss)

In der Stahlgussindustrie (Strangguss, Formguss) werden häufig Flussmittel verwendet, um den Gussprozess zu optimieren bzw. die Gefahr von fehlerhafter Ware zu minimieren. In der Stranggussindustrie wird Lithium daher in Form von Spodumen oder Petalit als Bestandteil dieser Flussmittel verwendet. Durch die Zugabe wird die Viskosität der Schmelze verringert. Dadurch kann die Fließgeschwindigkeit und damit die Produktivität der kontinuierlichen Stranggussanlagen erhöht werden. Darüber hinaus wirkt das Flussmittel als Temperaturbarriere zwischen der Form und dem geschmolzenen Stahl. Die Oberfläche wird vor Oxidation geschützt und Verunreinigungen wie Al_2O_3 werden vom Stranggusskörper entfernt (ROSKILL 2016a).

Im traditionellen Formguss verhindert Lithiumoxid die Bildung von Fehlstellen im fertigen Gussteil. Typischerweise enthalten diese Flussmittel bis zu 5 % Lithiumoxid. Die Zugabe zum Flussmittel erfolgt entweder als Lithiumoxid oder Lithiumkarbonat. Auch die Zugabe von Spodumen oder Petalit ist möglich.

Polymere

Für die Herstellung naturähnlicher Kautschukverbindungen wird Butyllithium (n-Butyllithium = n-BuLi) als Reagenz bzw. Katalysator verwendet. Bei diesen naturähnlichen Kautschukverbindungen handelt es sich bspw. um Styrene-Butadiene Rubber (SBR), Polybutadiene (BR), Nitril (NR, Polyisopropene (IR), Butylrubber (IIR), Ethylene-Propylene-Copolymers (EPR) und Terpolymers (SBC). Je nach Kautschukverbindung werden unterschiedliche Mengen an n-BuLi benötigt. Für die Herstellung von 1 t SBR werden etwa 3 kg n-BuLi benötigt. Die Herstellung von 1 t BR benötigt demgegenüber etwa 14 kg n-BuLi (ROSKILL 2016a). Zur Herstellung 1 t SBC werden etwa 8 kg n-BuLi benötigt.

Luftaufbereitung

Hinter dem Begriff Luftaufbereitung verbergen sich mehrere unterschiedliche Anwendungsbereiche für Lithiumchemikalien. Lithiumbromidlösungen werden bspw. in Kombination mit Wasser in „Wasser-Lithium-Bromid-Absorptionskältemaschinen“ (AKM) eingesetzt (ROSKILL 2016a). Der Vorteil dieser Maschinen liegt in der niedrigen Austreibungs-temperatur sowie in der Unbedenklichkeit der Verwendung von Wasser als Kältemittel. Weitere Vorteile sind die einfachere technische Ausführung im Vergleich zu Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlagen. Vor allem in Bereichen, in denen Abwärme entsteht, die nicht anderweitig genutzt werden kann, stellen solche Kältemaschinen eine kostengünstige Alternative zu klassischen Kälteanlagen dar.

Ein weiterer Anwendungsbereich sind Luftentfeuchter auf Basis von Absorption in hygroskopischen Flüssigkeiten. Lithium wird hier als Lithiumchlorid (LiCl) verwendet. Diese Verbindung besitzt die Fähigkeit, das zehnfache Eigengewicht an Wasser aufzunehmen. Es gibt keine Verbindung mit einem höheren hygroskopischen Verhalten. Zusätzlich ist diese Verbindung antibakteriell, stabil und günstig.

Ein dritter Verwendungszweck von Lithium in diesem Bereich liegt in der Luftreinigung. Mittels Lithiumhydroxid kann CO_2 aus der Luft entfernt werden. So kann 1 g trockenes Lithiumhydroxid (LiOH) etwa $450 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$ aus der Luft durch die

Bildung von Lithiumkarbonat (Li_2CO_3) entfernen. Eine noch effektivere Substanz stellen Lithiumperoxid (Li_2O_2) und Lithiumsuperoxide (Li_2O) dar. Diese beiden Verbindungen bilden unter CO_2 -Zugabe Lithiumkarbonat und setzen gleichzeitig Sauerstoff frei. Einsatz finden solche Systeme in der Bergrettung (Sauerstoff-Selbstretter), in U-Booten und der Raumfahrt.

Nicht wiederaufladbare Batterien

Neben dem Bereich der wiederaufladbaren Batterien spielt Lithium auch im Bereich der nicht wiederaufladbaren Batterien eine erhebliche Rolle. Dieser Batterietypus ist sehr breit gefächert. Typischerweise handelt es sich um Knopfzellen unterschiedlicher Größen, zylindrische Zellen vom Format AA oder AAA oder spezielle Zellformate.

Aufgrund seiner elektrochemischen Eigenschaften wird Lithium vor allem dort eingesetzt, wo kleine Batterien notwendig sind. Dies sind z. B. Uhren, Taschenrechner, Herzschrittmacher usw. Die Vorteile dieser Zellen liegen in ihrer geringen Größe, ihrer hohen Energiedichte, ihrem geringen Gewicht, ihrer langen Lagerungsmöglichkeit, ihrer geringen Selbstentladung und ihrer hohen Zellspannung.

Solche nicht wiederaufladbaren Batterien können über einen hohen Temperaturbereich (-60° – 160°C) betrieben werden, die Entladungsspannungen liegen zwischen 1,5 und 4 V. Lithium wird hauptsächlich als Metall (Anode) und als Bestandteil des Elektrolytes verwendet. In der Kathode findet Lithium bei diesem Batterietyp keine Anwendung.

Aluminiumherstellung (Schmelzflusselektrolyse)

In der Schmelzflusselektrolyse wird keine wässrige Lösung, sondern eine Salzschnmelze als Elektrolyt verwendet. Das Verfahren dient zur Herstellung von Alkalimetallen, Erdalkalimetallen und auch Aluminium.

Bei der Herstellung von Aluminium im Hall-Héroult-Prozess wird Alumina (Al_2O_3) in einem geschmolzenen Bad aus Kryolith ($\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$) geschmolzen. Durch den Einsatz von Kryolith wird

die Schmelztemperatur von ca. 2.072°C erheblich gesenkt und die Viskosität der Schmelze verbessert. Aufgrund der Dichteunterschiede von geschmolzenem Aluminium und Kryolith kann das Aluminium dann am Boden der Schmelzpfanne entnommen werden. Neben Kryolith ($\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$) werden auch Mischungen aus Lithiumkarbonatpellets (Li_2CO_3) und Aluminiumfluorid (AlF_3) eingesetzt.

Durch die Zugabe von Lithiumkarbonatpellets (Li_2CO_3) bildet sich Lithiumfluorid (LiF). Durch 2–3 % LiF in der Schmelze sinkt die Prozesstemperatur um ca. 18°C , der Stromverbrauch sinkt entsprechend um ca. 2–4 % und die Emissionen von Fluor werden verringert.

Nach Angaben der DEUTSCHEN BANK (2016) werden nur etwa 15 % der globalen Aluminiumproduktion durch die Verwendung von Li-basierten Additiven hergestellt. Dies geschieht vorrangig in den USA und Kanada. Für die Produktion von 1 t Aluminium werden im Schnitt etwa 1,5 kg Lithiumkarbonat benötigt.

Übrige Anwendungen

Unter die Rubrik übrige Anwendungen fallen Bereiche wie z. B. Elektrotechnik (Lithiumniobate), Nukleartechnik (Li-6 Isotope), Textilindustrie (Lithiumacetate, Lithiumhydroxide), Zementindustrie (Beschleuniger), Feuerwerk (Lithiumnitrat zur Farbgebung), Pharmazie, chemische Industrie (organische Lithiumverbindungen) und Wasserbehandlung (Lithiumhypochlorite).

2 Risikobewertung

2.1 Datenbasis

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird der Zeitraum 1960 bis 2015 betrachtet. Sofern nicht anders vermerkt, beziehen sich sämtliche Angaben daher auf das Jahr **2015**.

Wichtige Datengrundlage der vorliegenden Rohstoffrisikostudie bildet das Fachinformationssystem Rohstoffe der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR 2016). Dieses umfasst Zeitreihen zur weltweiten Bergwerksförderung, zu Vorräten sowie Preisinformationen und ein Volltextarchiv, in dem relevante Artikel aus einschlägigen Fachzeitschriften sowie der Tagespresse kontinuierlich abgelegt werden.

Informationen zu aktuellen Explorations- und Bergbauprojekten basieren auf eigenen Recherchen im Fachinformationssystem der BGR und im Internet, hier insbesondere auf den Internetseiten der Bergbauunternehmen (Jahresberichte, Präsentationen, Fact Sheets, News Releases), sowie in kostenpflichtigen Datenbanken (z. B. SNL).

Bei den Daten zur Jahresförderkapazität neuer Bergbauprojekte und Betriebserweiterungen handelt es sich um Planzahlen der Explorations- und Bergbauunternehmen. Häufig werden geplante Bergbauvorhaben nicht umgesetzt bzw. der Zeitpunkt der Inbetriebnahme eines neuen Bergwerks wird verschoben. So führten bspw. die Marktentwicklungen als Folge der Finanzmarktkrise (2008/2009) zu Verzögerungen in der Umsetzung von Projekten bzw. zu Planänderungen vieler Unternehmen.

Die Bergwerksförderung von Lithium wird für den Zeitraum von 1960 bis 2015 dargestellt. Für die wichtigsten Länder Chile und Australien liegen aussagekräftige Daten jedoch erst ab dem Jahr 1984 vor.

Angaben zu Recyclingquoten wurden aus der UNEP-Studie „Recycling Rates of Metals – A Status Report. – A Report of the Working Group Global Metal Flows in the International Resource Panel“ aus dem Jahr 2011 entnommen.

Daten zu Unternehmenskapazitäten, der Produktion von Zwischenprodukten und zur globalen Nachfrage bis einschließlich 2015 basieren auf

Datensätzen von ROSKILL (2013, 2016a, 2016b), der DEUTSCHEN BANK (2016) sowie Unternehmensangaben.

Für die zukünftige Nachfrage bis einschließlich 2025 wurden für ausgewählte Anwendungsbereiche Daten von ROSKILL (2016a) verwendet. Für die wichtigen Anwendungsgebiete E-Mobilität, Speicherung regenerativer Energie und Powertools/Motive (E-Bikes, E-Trikes) wurden DERA-interne Nachfrageberechnungen genutzt.

Die historische Preisentwicklung von Lithiumkarbonat wird für den Zeitraum 01/1999 bis 2/2017 betrachtet. Für Lithiumhydroxid stehen monatliche Preisinformationen ab Juni 2015 zur Verfügung. Für Spodumen-Konzentrate stehen monatliche Preisinformationen ab April 2015 zur Verfügung. Darüber hinaus wurden für einzelne Lithiumprodukte Monatspreise, basierend auf Handelsdaten, ermittelt und betrachtet. Die Berechnung der Realpreise erfolgt unter Verwendung des Konsumentenpreisindex der USA (Basis: 12/2016 = 100).

Datenbasis für die Betrachtung des internationalen Handels (Nettoexporte) von Lithium und Lithiumverbindungen bildet der „Global Trade Atlas“, eine kommerzielle Datenbank der Firma Global Trade Information Services Ltd. (GTIS).

Fehlende oder widersprüchliche Exportstatistiken einiger Länder wurden anhand globaler Importe aus diesen Ländern auf Plausibilität geprüft.

Die weltweiten Reserven von Lithium basieren auf Daten des USGS (versch. Jg.) und liegen ab 1988 vor. Zusätzlich liegen Daten aus diversen Publikationen vor (DEUTSCHE BANK 2016, INDUSTRIAL MINERALS 2017, ROSKILL 2016a).

Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Mengenangaben auf Lithium-Inhalt (t Li-Inh.). In vielen Publikationen und Unternehmensberichten wird jedoch die Angabe LCE (Lithium-Carbonate-Equivalent) verwendet. Eine Tonne LCE entspricht 0,188 t Li-Inh. (Tab. 2, S. 18).

Wachstumsraten basieren auf der jährlichen durchschnittlichen Wachstumsrate (Compound Annual Growth Rate, CAGR). Diese stellt den durchschnittlichen Prozentsatz dar, um den der Anfangswert einer Zeitreihe auf hypothetische Folgewerte für die Berichtsjahre wächst, bis der

tatsächliche Endwert der Berichtsperiode erreicht ist. Tatsächliche Ausschläge der Zwischenzeiten wirken sich dabei nicht aus.

Die Berechnung der Preisvolatilität erfolgt mittels Standardabweichung der Differenz (Rendite) der logarithmierten Monatsdurchschnittspreise. Die Volatilität wird für zwölf Monate gleitend berechnet. Die Annualisierung erfolgt durch Multiplizieren mit $\sqrt{12}$. Diese wird aufgrund der Datenbasis nur für die Spezifikation: *Lithium-Carbonate, min. 99–99.5 % Li₂CO₃, large contracts, USA, delivered continental* berechnet.

2.2 Preisentwicklung und -risiken

Lithium wird hauptsächlich in Form von Konzentraten (Spodumen, Petalit) und den beiden wichtigsten Zwischenprodukten Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid in unterschiedlichen Qualitäten gehandelt. Darüber hinaus findet, bezogen auf die Mengen, in geringem Umfang Handel mit Lithiumreichen Solen, Lithiumchloriden, -bromiden und Lithiummetall statt.

An internationalen Handelsplätzen, wie der London Metal Exchange (LME) oder der New York Commodities Exchange (COMEX), findet kein Handel statt. Die Preise werden entsprechend zwischen Produzenten und Verbrauchern individuell und abhängig von den geforderten Produktqualitäten und Spezifikationen ausgehandelt (Langzeitlieferverträge). Gewisse Mengen an Lithiumprodukten werden auch am Spotmarkt gehandelt. Im Allgemeinen werden die Preise durch Angebot und Nachfrage bestimmt. Spotmarktpreise für Lithiumkarbonat und Spodumen-Konzentrate liegen zum Teil erheblich über den Preisen von Langzeitlieferverträgen.

2.2.1 Preisdaten

Für Lithiumrohstoffe und -chemikalien liegen die in Tab. 11 aufgeführten Spezifikationen und Zeitreihe vor.

Lithiumkarbonat

Zwischen 1999 und 2015 haben sich die Jahresdurchschnittspreise für Lithiumkarbonat (*Lithium-Carbonate, min. 99–99.5 % Li₂CO₃, large contracts, USA, delivered continental*) um den Faktor 2,3 erhöht. Berücksichtigt man das Jahr 2016, so haben sich die Preise um den Faktor 2,6 erhöht. Sie stiegen von 2.860 US\$/t (1999) auf 6.456 US\$/t (2015) bzw. 7.457 US\$/t (2016). Im Februar 2017 notierte der Preis bei knapp über 13.000 US\$/t, was einem Plus von ca. 75 % gegenüber dem Jahresdurchschnittspreis des Jahres 2016 entspricht.

Die gesamte Preisentwicklung (1999–2016) ist von zwei markanten Preisanstiegen gekennzeichnet. Zwischen 2003 und 2007 kam es zu einem Anstieg um 142 % von rund 3.000 US\$/t (2003) auf ca. 7.270 US\$/t (2007). Ursache für diesen rapiden Anstieg war die gestiegene Nachfrage nach Lithium aus dem Bereich der Lithium-Ionen-Batterien (3C-Anwendungen) gekoppelt mit der Ausübung von Marktmacht durch die zu diesem Zeitpunkt beiden größten Produzenten SQM und dem damaligen Unternehmen Chemetall (aktuell Albemarle).

Zwischen 2007 und 2009 lagen die Jahresdurchschnittspreise auf einem relativ hohen Niveau von ca. 7.200 US\$/t. Ein starker Einbruch aufgrund der globalen Finanzmarktkrise ist nicht zu beobachten. Erst Anfang 2010 fielen die Preise zeitverzögert aufgrund einer gesunkenen Nachfrage auf etwa 5.180 US\$/t (01/2010). Der Jahresdurchschnitt lag 2010 etwa 20 % unter dem Vorjahresniveau.

Tab. 11: Preisdaten für Lithium und Lithiumverbindungen (Datenquelle: BGR 2017).

Spezifikation	Zeitraum
LITHIUM: Lithium-Carbonate, min. 99–99.5 % Li ₂ CO ₃ , large contracts, USA, delivered continental	01/1999–02/2017
LITHIUM: Lithium hydroxide, 56.5–57.5 % LiOH, large contracts, packed in drums or bags, del Europe or US, \$/kg (\$/t)	06/2015–02/2017
LITHIUM: Spodumene concentrate, > 7,5 % Li ₂ O, bulk, cif Asia	04/2015–03/2017
LITHIUM: Spodumene concentrate, 5 % Li ₂ O, cif Asia	04/2015–03/2017

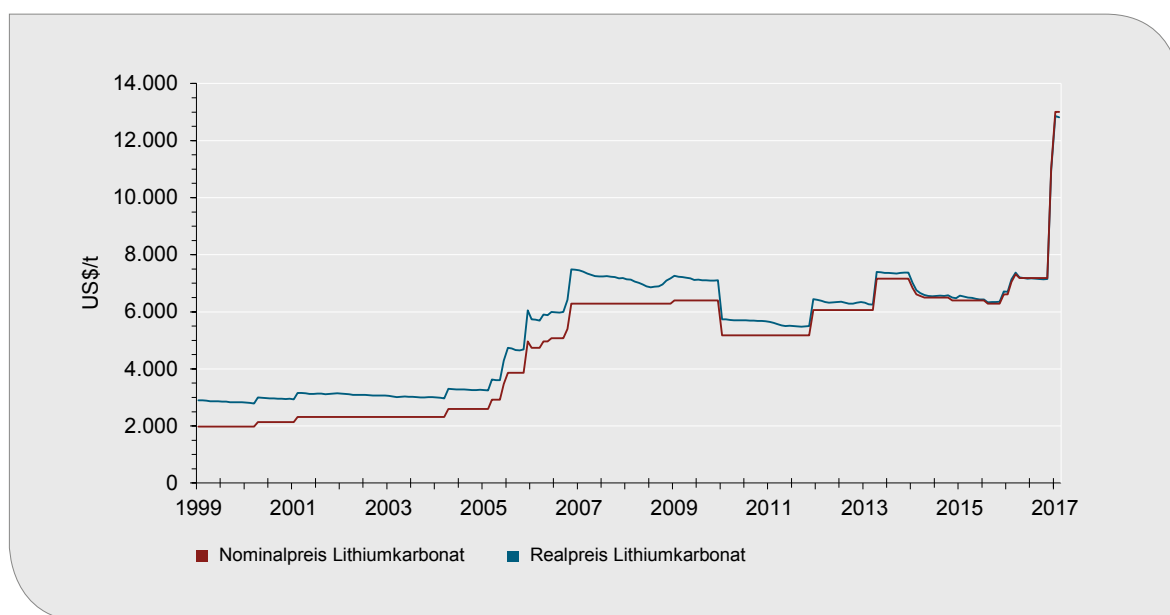


Abb. 15: Entwicklung der Nominal- und Realpreise für Lithiumkarbonat (01/1999–02/2017). Daten sind mit CPI (Ø 2016 = 100) deflationiert (Datenquelle: BGR 2017).

Im Folgejahr (2011) sank der Jahresdurchschnittspreis nochmals geringfügig auf ca. 5.607 US\$/t. Ursache hierfür war eine immer noch geringe Nachfrage bei gleichzeitig hohen Lagerbeständen bei den Produzenten. Erst Anfang 2012 zogen die Preise erneut deutlich an. Ende Dezember 2013 lag der Preis bei rund 7.318 US\$/t und der Jahresdurchschnittspreis bei rund 7.097 US\$/t. Im weiteren Verlauf sanken die Preise bis auf etwa 6.328 US\$/t (08/2015). Ab diesem Zeitpunkt ist ein rapider Preisanstieg zu verzeichnen. Lag der Jahresdurchschnitt 2015 bei rund 6.456 US\$/t, stieg er im Jahr 2016 auf 7.457 US\$/t (+16 %). Im Februar 2017 lag der Preis bereits bei über 13.000 US\$/t (Abb. 15). Gegenüber November 2016 (7.187 US\$/t) stellt dies eine Zunahme von rund 81 % dar.

Lithiumhydroxid

Für Lithiumhydroxid (*Lithium hydroxide, 56,5–57,5 % LiOH, large contracts, packed in drums or bags, del Europe or US, \$/kg (\$/t)*) liegen Daten nur für den Zeitraum Juni 2015 bis Mai 2017 vor (Abb. 16). Seit Juni letzten Jahres ist ein markanter Preisanstieg zu verzeichnen und die Preise haben sich innerhalb von knapp zwei Jahren verdoppelt. Lag der Preis pro Tonne im Juni 2016 noch bei ca. 8.250 US\$/t, so stieg er im Mai 2017 auf ein Allzeithoch von rund 17.000 US\$/t (Abb. 16).

Spodumen-Konzentrate

Der Preis für Spodumen-Konzentrate (>7,5 % Li₂O) lag im April 2015 bei ca. 761 US\$/t. Es folgte eine kurze Phase, in welcher der reale Preis auf knapp 778 US\$/t (02/2016) zunahm. Seit diesem Hoch sind die Monatsdurchschnittspreise auf etwa 756 US\$/t (03/2017) gesunken und liegen somit auf dem Niveau vom April 2015 (Abb. 17). Der Jahresdurchschnitt 2016 lag bei etwa 766 US\$/t. Analog zu Konzentraten mit einem Li₂O-Gehalt von > 7,5 % stehen für Spodumen-Konzentrate mit einem Li₂O-Gehalt > 5,0 % Li₂O nur eingeschränkt Preisinformationen zur Verfügung. Im April 2015 lag der Preis bei ca. 360 US\$/t (Abb. 17). Es folgte ebenfalls eine kurze Phase, in welcher der reale Preis auf knapp 385 US\$/t (01/2016) zunahm. Seit diesem Hoch sind die Monatsdurchschnittspreise wieder gesunken und liegen aktuell bei knapp 374 US\$/t (03/2017) und somit über dem Niveau von April 2015. Der Jahresdurchschnitt 2016 lag bei etwa 380 US\$/t und damit etwa 386 US\$/t unter dem Niveau von Spodumen-Konzentraten mit einem Li₂O-Gehalt von > 7,5 % (s. o.) (Abb. 17).

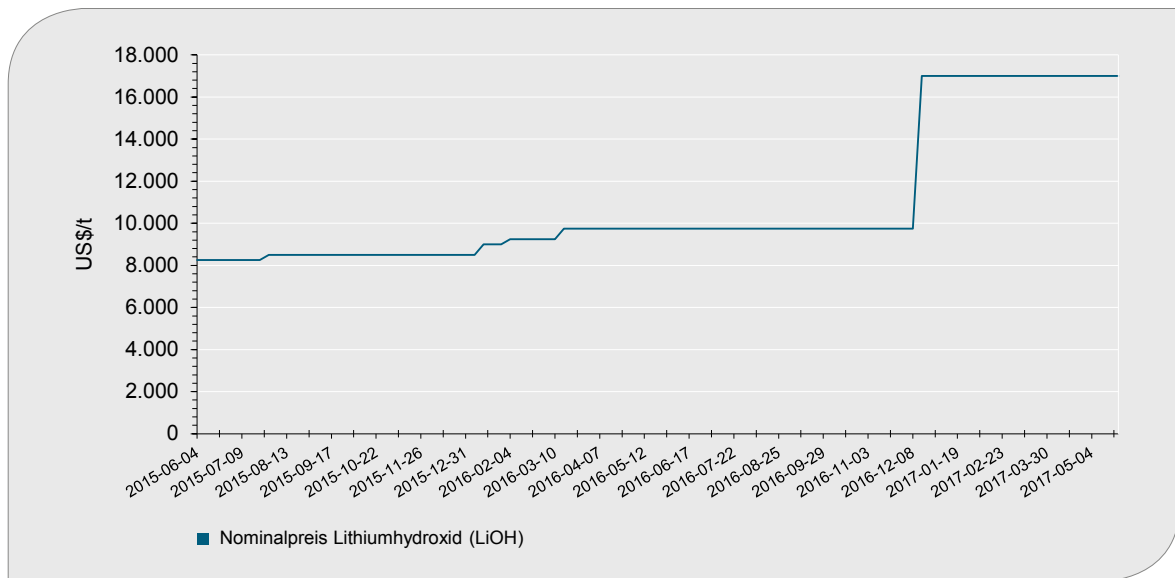


Abb. 16: Entwicklung des Nominalpreises für Lithiumhydroxid (06/2015–05/2017) (Datenquelle: BGR 2017).

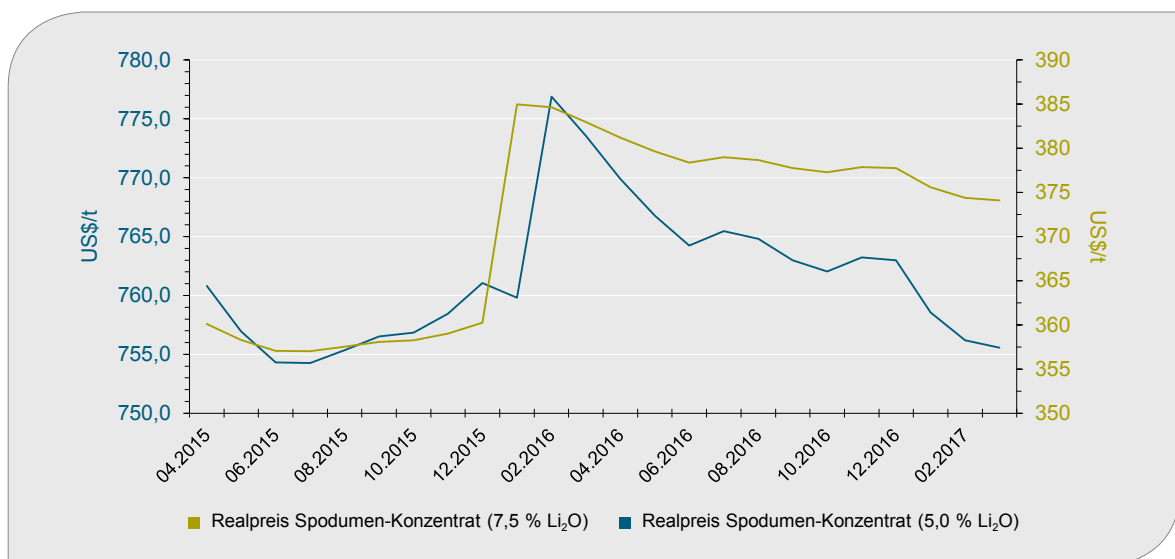


Abb. 17: Entwicklung der Realpreise für Spodumen-Konzentrate (04/2015–03/2017), Daten sind mit CPI (\emptyset 2016 = 100) deflationiert (Datenquelle: BGR 2017).

2.2.1.1 Preisdaten basierend auf Handelsdaten

Gewisse Preistrends lassen sich bei Kenntnis der entsprechenden Wertschöpfungsketten und -märkte aus globalen Handelsdaten ableiten (Abb. 18 bis Abb. 22). Neben den reinen Handelsmengen stehen auch Angaben zu den jeweiligen Warenwerten zur Verfügung. Die daraus ermittelten Preise (US\$/t) stellen nach ROSKILL (2016a)

bei Importen näherungsweise CIF-Preise und bei Exporten FOB-Preise dar.

Hierbei ist jedoch anzumerken, dass diese Methode fehlerbehaftet ist und somit nur als grober Indikator für eine generelle Preisentwicklung dienen kann. Der Vorteil liegt jedoch darin, dass längere Zeitreihen (1995) zur Verfügung stehen. Einen Überblick über die aus Handelsdaten abgeleiteten Jahresdurchschnittspreise bestimmter

Tab. 12: Auf Basis globaler Handelsdaten berechnete Durchschnittspreise für Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid und Spodumen-Konzentrate (Datengrundlage: GTIS 2017).

Produkte (wichtige Länder)	Ø 2015 (US\$/t)	Ø 2016 (US\$/t)	YoY (%)	Ø 04/2017 (US\$/t)
Lithiumkarbonatimporte der Länder: Spanien, Frankreich, Italien, Türkei, Belgien, Thailand und Deutschland aus Chile	5.290	7.140	+35	k. A.
Lithiumkarbonatimporte der Länder: Japan, Taiwan, Rep. Korea aus Chile und Argentinien	5.500	8.300	+51	12.840
Lithiumhydroxidexporte der Länder: China ¹ , Chile, USA ¹ und Russische Föderation	6.520	9.960	+53	15.850
Lithiumhydroxidimporte Japans aus China und den USA	8.420	9.860	+17	11.630
Spodumen-Konzentratimporte Chinas aus Australien	430	470	+9	530
Spodumen-Konzentratexporte Australiens nach China	400	407	+2	k. A.

¹ China und die USA werden in der Berechnung der Durchschnittspreise nicht berücksichtigt

Handelsprodukte für das Jahr 2015 und 2016 gibt Tab. 12. Zusätzlich sind, soweit verfügbar, Daten für April 2017 angegeben.

Nach ROSKILL (2016a) stellen Lithiumkarbonatimporte der Länder Spanien, Frankreich, Italien, Türkei, Thailand, Belgien und Deutschland aus Chile „**Technical Grade Lithiumcarbonate**“ dar. Belgien ist jedoch kein direkter Absatzmarkt, sondern vielmehr Transitland für bspw. Frankreich und Deutschland. Für die genannten Länder wurde für 2016 ein durchschnittlicher Importwarenwert pro Tonne Li₂CO₃ von 7.140 US\$ ermittelt (Tab. 12, Abb. 18), was gegenüber dem Jahr 2015 ein Plus von rund 35 % darstellt.

Die Lithiumkarbonatimporte der Länder Japan, der Republik Korea und Taiwans aus Chile und Argentinien stellen dagegen vermutlich „**Battery Grade Lithiumcarbonate**“ dar. Diese Länder sind Schlüsselmärkte der Batterieindustrie, da hier die wichtigsten Kathodenhersteller ansässig sind. Auch hier können die Preise pro Tonne importiertes Material als Indikator für die Preisentwicklung herangezogen werden.

Die auf diesem Wege ermittelten chinesischen Importpreise (Ø = 8.770 US\$/t) sind jedoch nicht repräsentativ, da hier vermutlich beide Qualitäten

in unterschiedlichen Mengen enthalten sind und eine mengenmäßige Trennung nicht möglich ist (ROSKILL 2016a). Sie werden daher in der Berechnung der Mittelwerte (Jahresdurchschnittspreise) nicht berücksichtigt.

Für die wichtigen genannten Länder wurde für 2016 ein durchschnittlicher Importwarenwert pro Tonne Li₂CO₃ von 8.300 US\$ ermittelt (Tab. 12, Abb. 18), was gegenüber dem Jahr 2015 ein Plus von rund 51 % darstellt. Im April 2017 lag der Preis pro Tonne bereits bei ca. 12.840 US\$/t (GTIS 2017).

Der aus chinesischen Handelsdaten ermittelte durchschnittliche globale Exportwarenwert pro Tonne Li₂CO₃ lag 2015 bei 8.150 US\$/t. Für das Jahr 2016 wurde ein Preis von 21.270 US\$/t ermittelt (+161 %) (GTIS 2017). Im April 2017 lag der Preis aufgrund der hohen Nachfrage bereits bei 24.740 US\$/t (Abb. 19, S. 47).

Die Exporte Chinas, Chiles, der Russischen Föderation und der USA stellen vermutlich Lithiumhydroxid der Qualität „**Technical Grade Lithiumhydroxide**“ dar und können daher als Preisindikator verwendet werden. Für den Zeitraum ab 2011 sollten als wichtige Preisindikatoren nur noch die ermittelten Exportwarenwerte der Länder Chile und

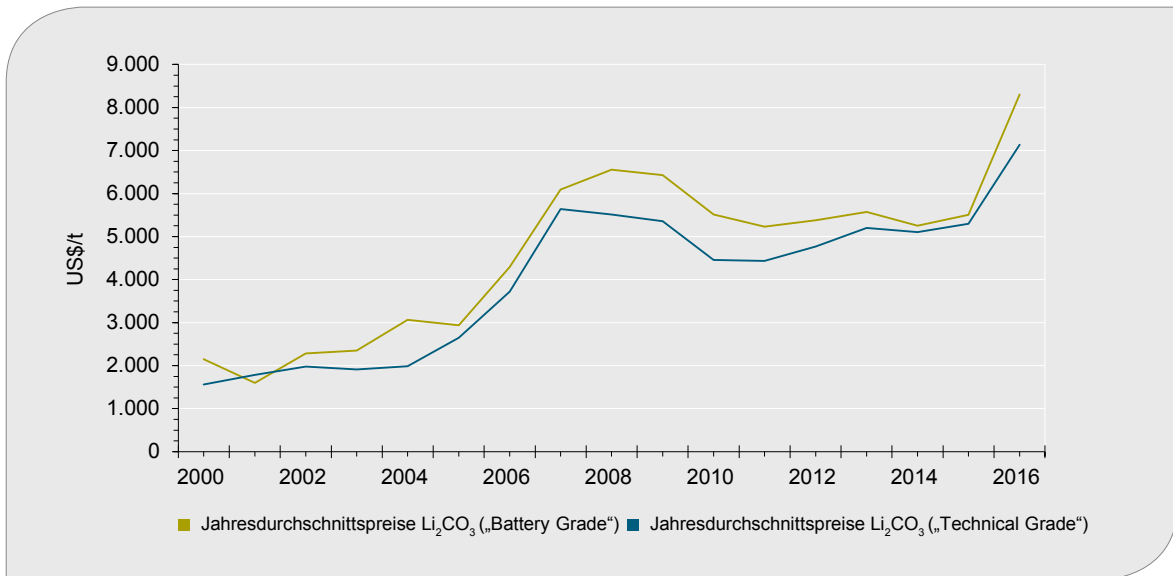


Abb. 18: Preisentwicklung von Lithiumkarbonatimporten (Technical Grade, Battery Grade) für den Zeitraum 2000–2016 basierend auf Handelsdaten (Jahresdurchschnittspreise) (Datenquelle: GTIS 2017).

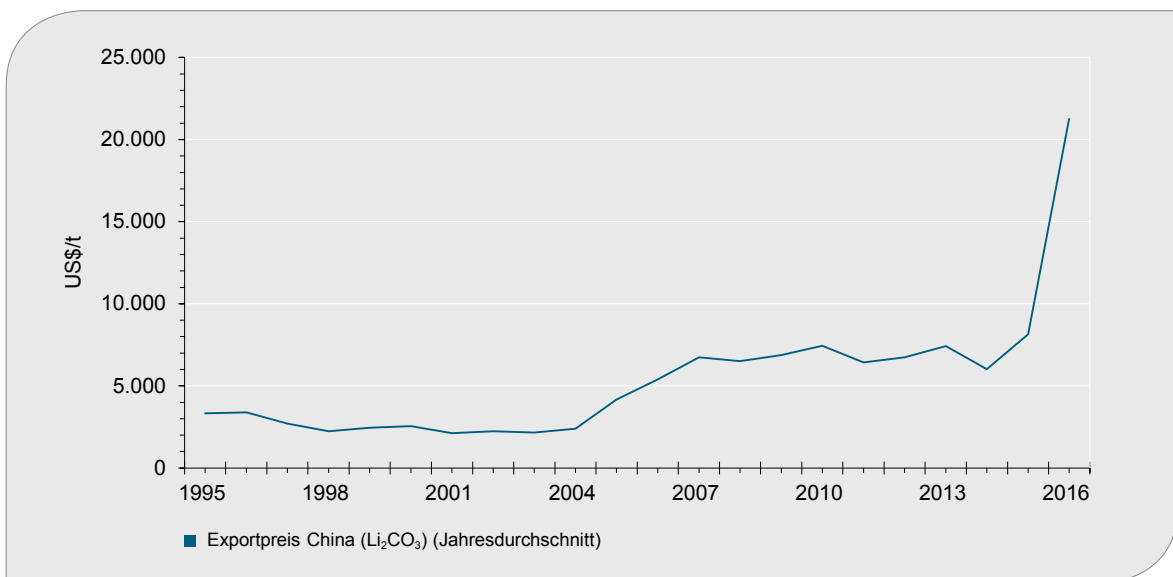


Abb. 19: Entwicklung der chinesischen Exportpreise (Jahresdurchschnitt) von Lithiumkarbonat für den Zeitraum 1995–2016 basierend auf Handelsdaten (Datenquelle: GTIS 2017).

Russland herangezogen werden, da China und die USA zunehmend auch „Battery Grade Lithiumhydroxide“ exportieren, welche einen höheren Preis auf dem Weltmarkt erzielen (ROSKILL 2016a). Für die Länder Chile und Russische Föderation wurde für 2015 ein durchschnittlicher Exportwarenwert pro Tonne LiOH von 6.520 US\$ ermittelt (Tab. 12, Abb. 20).

Für das Jahr 2016 wurde ein Preis von 9.960 US\$/t berechnet (+53 %). Im April 2017 lag der ermittelte Preis chilenischer Exporte bereits bei 15.850 US\$/t (GTIS 2017).

Preistrends für Lithiumhydroxid der Qualität „**Battery Grade Lithiumhydroxide**“ können nach ROSKILL (2016a) über den Importwarenwert und

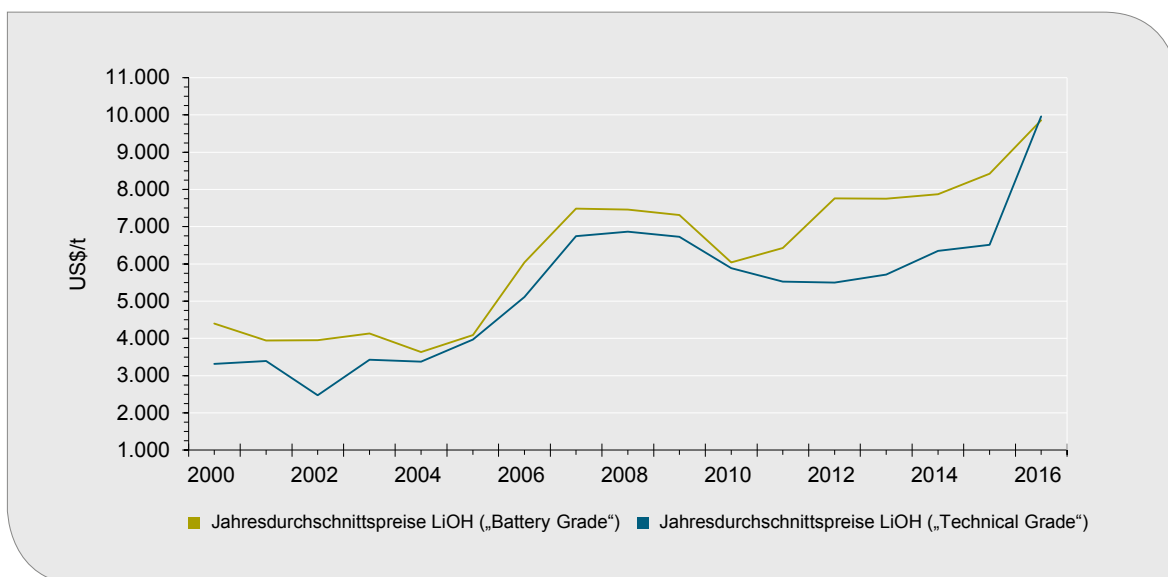


Abb. 20: Preisentwicklung von Lithiumhydroxid (Technical Grade, Battery Grade) für den Zeitraum 2000–2016 basierend auf Handelsdaten (Jahresdurchschnittspreise) (Datenquelle: GTIS 2017).

die Importwarenmengen Japans aus den USA und China abgeleitet werden. Die Importe der Republik Korea eignen sich nicht, da hier vermutlich auch große Mengen an „Technical Grade Lithiumhydroxide“ enthalten sind. China selbst ist kein großer Importeur, da es dieses Zwischenprodukt selbst aus Lithiumkarbonat bzw. direkt Spodumen-Konzentrat herstellt und verarbeitet.

Für die Importe Japans aus China und den USA wurde für 2015 ein durchschnittlicher Importwarenwert pro Tonne LiOH von 8.420 US\$ bestimmt (Tab. 12, Abb. 20). Für das Jahr 2016 wurde ein Preis von 9.860 US\$/t ermittelt (+53 %). Im April 2017 lag der Preis pro Tonne bereits bei 11.630 US\$/t (GTIS 2017).

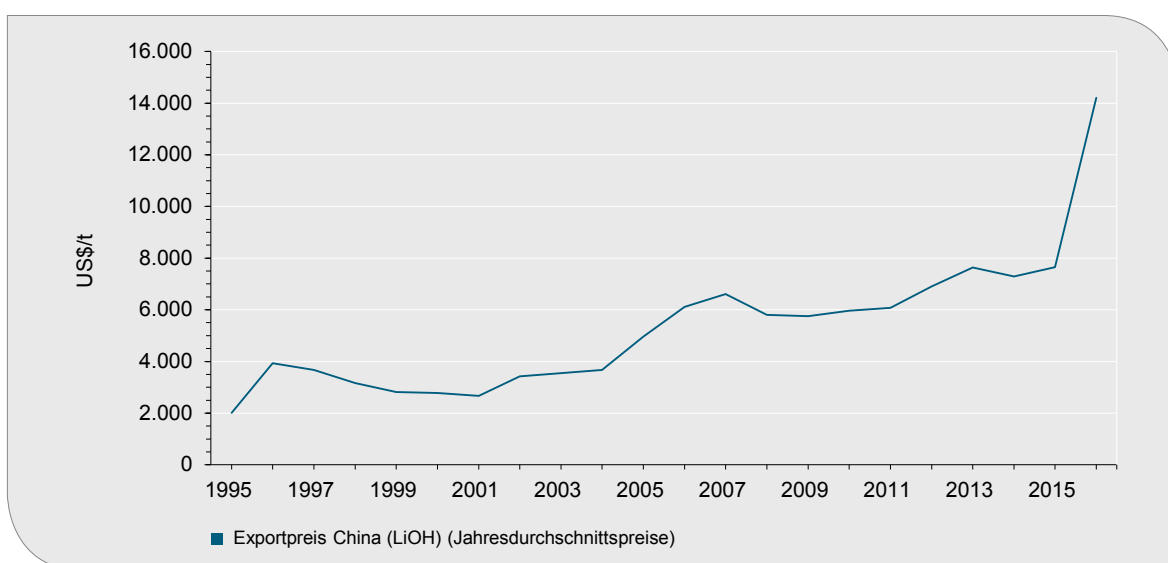


Abb. 21: Entwicklung der chinesischen Exportpreise von Lithiumhydroxid für den Zeitraum 1995–2016 basierend auf Handelsdaten (Jahresdurchschnittspreise) (Datenquelle: GTIS 2017).

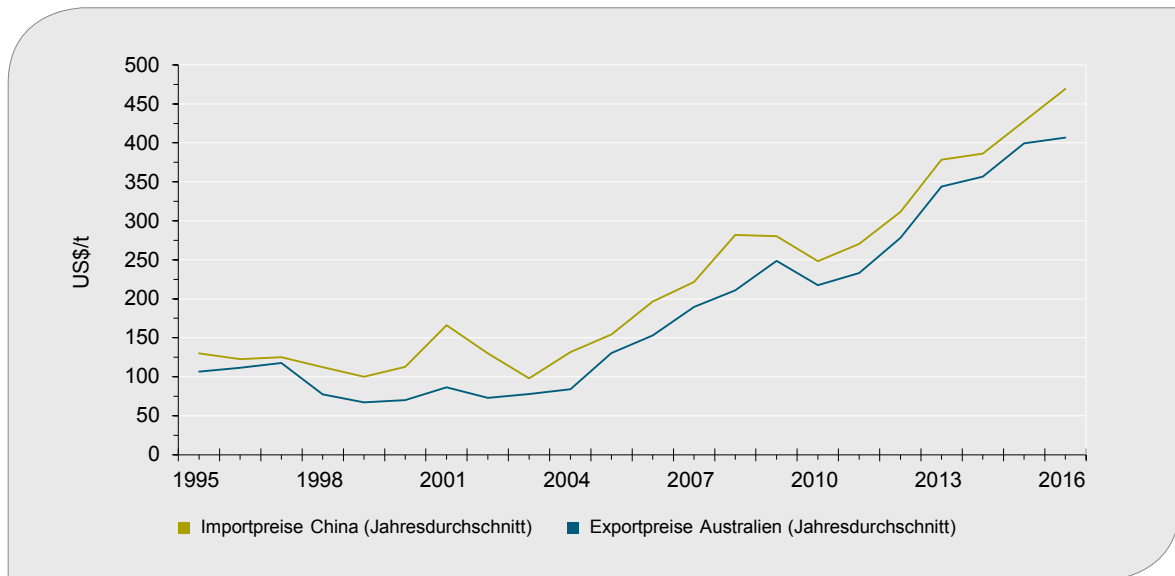


Abb. 22: Vergleich der Preisentwicklung von Spodumen-Konzentraten (Import/Export) für den Zeitraum 1995–2016 basierend auf Handelsdaten der Länder Australien und China (Jahresdurchschnittspreise) (Datenquelle: GTIS 2017).

Der aus chinesischen Handelsdaten abgeleitete durchschnittliche globale Exportwarenwert pro Tonne LiOH lag 2015 bei 7.655 US\$/t. Für das Jahr 2016 wurde ein Preis von 14.210 US\$/t ermittelt (+86 %) (Abb. 21). Im April 2017 lag der Preis pro Tonne bei 11.730 US\$/t (GTIS 2017).

Größter Importeur australischer Spodumen-Konzentrate ist China. Als Preisindikator der Qualität „**Chemical Grade Spodumene Concentrate**“ eignen sich daher die aus Importwarenwert und Importwarenmenge ermittelten Preise pro Tonne in US-Dollar der chinesischen Importe aus Australien (ROSKILL 2016a).

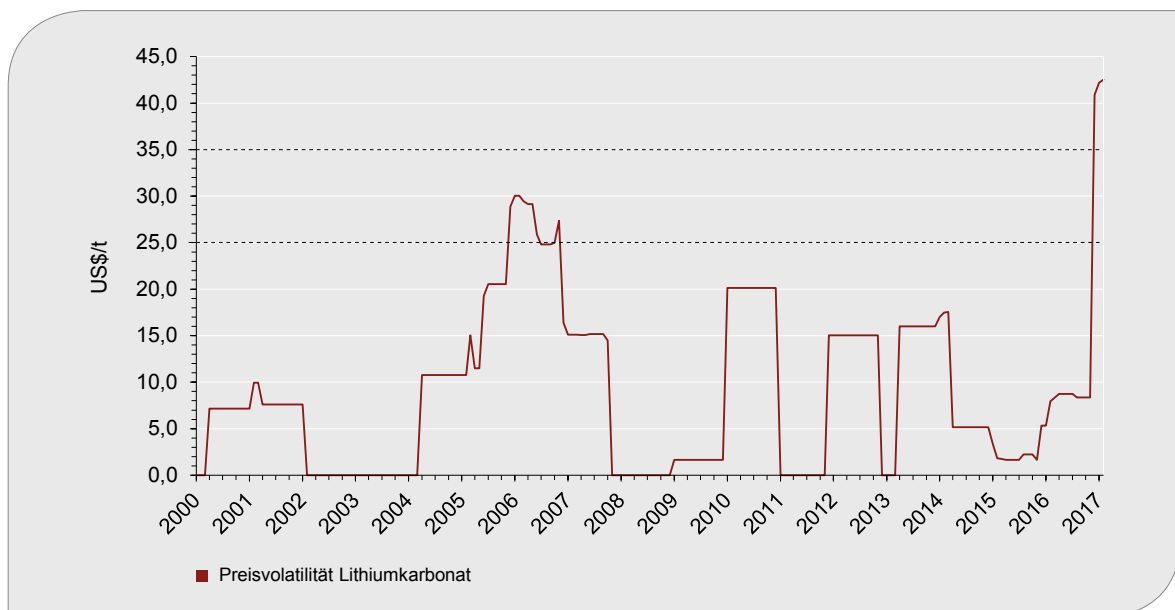


Abb. 23: Historische Jahresvolatilität für die Monatsdurchschnittspreise von Lithiumkarbonat (Lithium-Carbonate, min. 99–99.5 % Li₂CO₃, large contracts, USA, delivered continental) (Datenquelle: BGR 2017).

Der so für das Jahr 2016 ermittelte Preis pro Tonne Spodumen-Konzentrat lag 2015 bei ca. 430 US\$ (Tab. 12, Abb. 22). Für das Jahr 2016 ergibt sich ein Preis von rund 470 US\$/t (+9 %) (GTIS 2017). Im April 2017 lag der Preis bereits bei rund 530 US\$/t.

Preisvolatilität

Die Volatilität des Lithiumkarbonatpreises (*Lithium-Carbonate, min. 99–99.5 % Li₂CO₃, large contracts, USA, delivered continental*) schwankt im betrachteten Zeitraum zum Teil beträchtlich. Die gemittelte Preisvolatilität (1999–02/2017) liegt bei 16,3 %. Im Jahr 2006 lag sie bei etwa 30 %. In den übrigen Jahren lag die Volatilität stets unter 20 %. Im Jahr 2015 und über große Teile des Jahres 2016 lag die Volatilität weit unter 10 %. Seit etwa Dezember 2016 ist mit den sprunghaft gestiegenen Preisen auch eine stark erhöhte Volatilität zu beobachten (Abb. 23).

Die gemittelte Preisvolatilität lag 2015 bei etwa 5,3 %. Für das Jahr 2016 ergibt sich eine gemittelte Volatilität von ca. 40,9 %. Aufgrund der stark gestiegenen Preise im ersten Halbjahr 2017 ist für das Gesamtjahr 2017 von einer hohen Preisvolatilität auszugehen.

2.3 Angebot und Nachfrage

2.3.1 Angebot

2.3.1.1 Bergwerksförderung Lithium

2015 wurden weltweit etwa 33.011 t Lithium (Li-Inh.) durch Bergwerksförderung gewonnen (Tab. 13, Abb. 24). Dies entspricht ca. 175.700 t LCE. Hierbei ist zwischen der Gewinnung aus Sole und der Gewinnung aus Festgestein zu unterscheiden (siehe Kap. 1.2, S. 22). Im Jahr 2015 stammten etwa 52 % des gewonnenen Lithiums aus der Soleförderung.

Das größte Förderland war mit etwa 13.160 t Li-Inh. Australien (Marktanteil ca. 39,9 %). Weltweit zweitgrößtes Förderland war Chile mit rund 11.787 t Li-Inh. (Marktanteil ca. 35,7 %). Es folgte mit großem Abstand an dritter Stelle Argentinien mit ca. 3.515 t Li-Inh. (Marktanteil ca. 10,7 %). Weitere Lithium produzierende Länder sind: China (2.002 t Li-Inh., Marktanteil ca. 6 %), Simbabwe (1.024 t Li-Inh., Marktanteil ca. 3 %), USA (846 t Li-Inh., Marktanteil ca. 2,6 %), Portugal (470 t Li-Inh., Marktanteil ca. 1,4 %) und Brasilien (186 t Li-Inh., Marktanteil ca. 0,6 %). Auf die Kategorie „Übrige Länder“ entfallen lediglich rund 19 t Li-Inh. (Tab. 13).

Prinzipiell stehen Daten zur Bergwerksförderung von Lithium ab dem Jahr 1960 zur Verfügung. Für Chile und Australien, die aktuell mit Abstand

Tab. 13: Bergwerksförderung von Lithium (Datenquelle: BGR 2017, Roskill 2016a).

Bergwerksförderung [t Li-Inhalt]							
Jahre	2004	2008	2012	2013	2014	2015	Weltanteil 2015 [%]
Australien ¹	3.298	6.668	12.721	11.721	12.333	13.160	39,9
Chile ²	8.348	10.491	13.977	11.401	11.640	11.787	35,7
Argentinien ²	1.962	3.151	2.533	2.471	3.388	3.515	10,7
China ³	706	1.072	1.834	1.910	1.895	2.002	6,1
Simbabwe ¹	267	974	1.033	974	1.024	1.025	3,1
USA ²	1.500	1.500	658	865	846	846	2,6
Portugal ¹	334	406	241	231	470	470	1,4
Brasilien ¹	210	335	164	186	186	186	0,6
Übrige Länder ³	686	685	13	959	19	19	0,1
Welt⁴	17.310	25.283	33.173	30.718	31.801	33.011	100

¹ Lithium-Gewinnung aus Festgestein (Pegmatite), ² Lithium-Gewinnung aus Solen,

³ Lithium-Gewinnung aus Solen und Festgesteinsvorkommen, ⁴ geringe Abweichung durch Rundung möglich

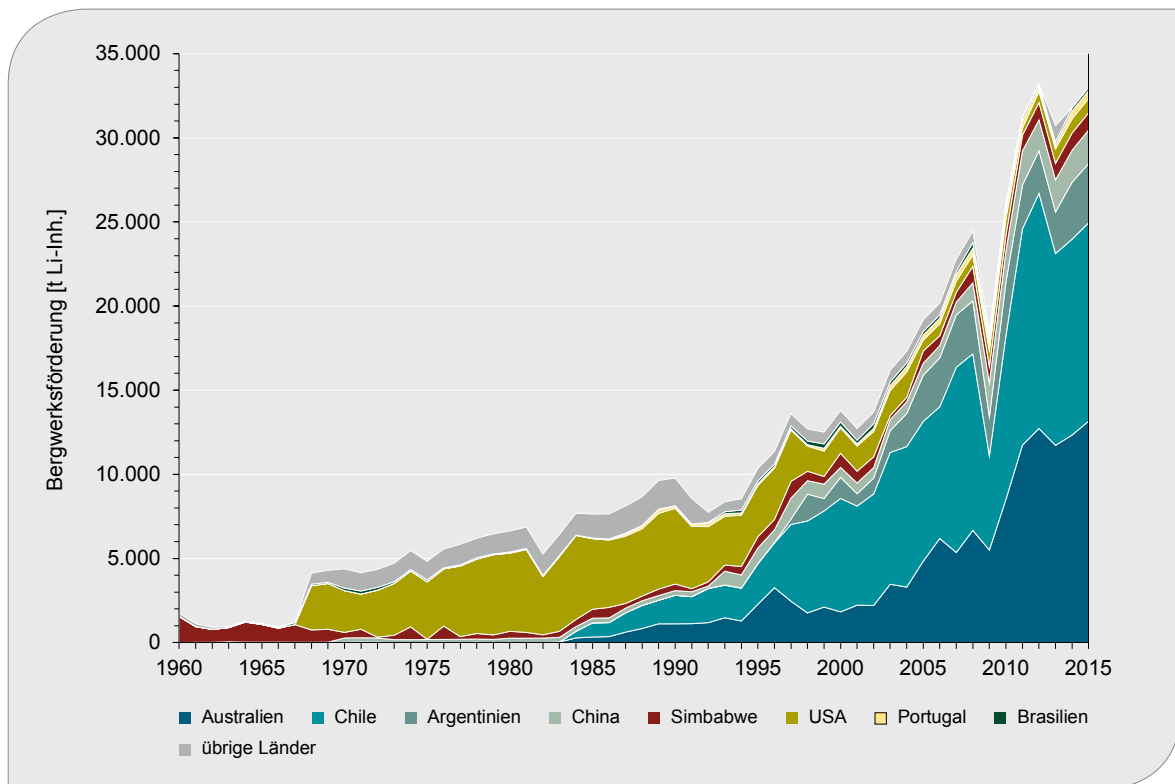


Abb. 24: Entwicklung der Bergwerksförderung von Lithium zwischen 1960 und 2015
(Datenquelle: BGR 2017, RosKILL 2016a).

wichtigsten Förderländer, liegen aussagekräftige Daten jedoch erst ab dem Jahr 1984 vor.

Von 1960 bis 2015 stieg die weltweite Bergwerksförderung von Lithium mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von etwa 5,5 % (Tab. 14). Sie nahm damit von etwa 1.741 t Li-Inh. auf insgesamt 33.011 t Li-Inh. um knapp 1.800 % zu. Von 1960 bis Mitte der 1980er Jahre ist das Wachstum hauptsächlich auf die USA zurückzuführen.

Ab etwa 1984 wuchs jedoch die Förderung in Chile und Australien stark an, sodass diese beiden Länder zu den wichtigsten Bergbauländern für Lithium aufstiegen. Im gleichen Zeitraum ist die Förderung in den USA deutlich zurückgegangen (Abb. 24).

Eine erste markante Entwicklung ergab sich für den Zeitraum 1960–1984, in dem die weltweite Förderung im Schnitt um jährlich 6,4 % von 1.741 t Li-Inh. auf 7.020 t Li-Inh. zunahm. Dies markiert eine Zunahme von ca. 300 % gegenüber 1960. Für die USA, dem Haupttreiber dieser Entwicklung, ergab sich für diesen Zeitraum eine durchschnittliche

jährliche Wachstumsrate (CAGR) von 57 %. Die Förderung stieg auf knapp 5.000 t Li-Inh. und der Marktanteil lag entsprechend hoch bei rund 65 %. In der UdSSR nahm die Förderung zwischen 1960 und 1984 um durchschnittlich 63 % pro Jahr zu. Das Land war damit mit einem Marktanteil von rund 16,3 % (1.250 t Li-Inh.) zweitgrößtes Förderland von Lithium hinter den USA.

Von 1984 bis 2015 stieg die weltweite Förderung von Lithium um 330 % mit einem CAGR von 4,8 % pro Jahr. Die Förderung der USA, bis dahin wichtigster Produzent, sank von knapp 5.000 t Li-Inh. (1984) auf unter 1.000 t Li-Inh. (2015) mit etwa –5,6 % pro Jahr. Der Marktanteil des Landes sank entsprechend von vormals 65 % auf 2,6 %. Demgegenüber nahm im gleichen Zeitraum die Förderung in Australien (13,3 % p. a.), Chile (11,6 % p. a.) und auch Argentinien (30,1 % p. a.) stark zu.

Lag die Förderung Australiens im Jahr 1984 bei lediglich 277 t Li-Inh. (Marktanteil 3,6 %), so stieg diese um den Faktor 48 auf rund 13.160 t Li-Inh. (Marktanteil 39,9 %). Gleiches galt für Chile. Die

Förderung Chiles stieg mit einem CAGR von 11,6 % um den Faktor 30 von 393 t Li-Inh. im Jahr 1984 auf rund 11.790 t Li-Inh. (2015). Der Marktanteil wuchs entsprechend von 5,1 % (1984) auf rund 35,7 % (2015).

Die Förderung Argentiniens wuchs im Zeitraum 1984–2015 um etwa 30,1 % pro Jahr, jedoch ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau zu

Beginn dieses Zeitraums. Mit einer Förderung von rund 3.515 t Li-Inh. im Jahr 2015 lag der Anteil des Landes an der globalen Gesamtförderung bei 10,6 %.

Die globale Finanzmarktkrise führte nur kurzfristig zu einem Einbruch in der weltweiten Förderung von Lithium. Diese sank von 25.283 t Li-Inh. im Jahr 2008 auf ca. 18.486 t Li-Inh. im Jahr 2009

Tab. 14: Jährliche Wachstumsraten der Lithiumförderung für ausgewählte Zeitintervalle ab 1960.

Jährliche Wachstumsrate CAGR [%]								
Zeitraum	1960 –2015	1960 –1984	1984 –2015	1960 –2009	1984 –2009	2009 –2015	2005 –2015	2010 –2015
Australien	21,5	32,9	13,3	22,2	12,7	15,7	10,5	9,1
Chile ¹	–	–	11,6	–	11,2	13,2	3,6	3,9
Argentinien	13,1	–5,6	30,1	13,9	36,3	7,3	2,5	2,0
China ¹	–	–	6,6	–	8,3	–0,1	10,8	1,4
Simbabwe	–0,7	–5,2	2,9	–0,9	3,4	0,8	3,4	2,3
USA	17,9	57,0	–5,6	20,6	–6,4	–2,1	2,8	–3,2
Portugal ¹	–	–	26,2	–	33,0	1,3	4,4	0,2
Brasilien	7,2	6,2	8,0	9,7	13,1	–10,8	–1,1	–12,6
übrige Welt ²	–4,1	8,4	–12,8	1,0	–5,6	–37,4	–30,3	0,7
Welt	5,5	6,4	4,8	4,9	3,6	10,1	5,1	4,9

¹ Daten erst ab 1984 verfügbar, ² beinhaltet: Kanada, Namibia, Ruanda, Spanien, Südafrika, Surinam, Uganda, UDSSR/GUS, – = keine Wachstumsraten für den Zeitraum bestimmbar

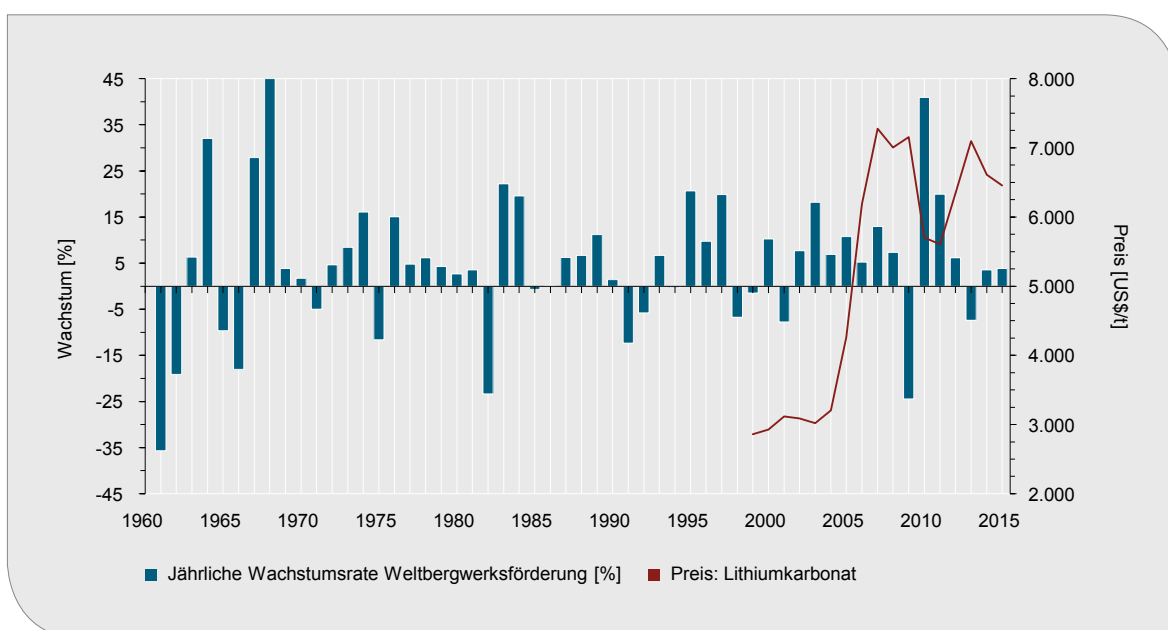


Abb. 25: Jährliches Wachstum der Bergwerksförderung von Lithium im Vergleich zum Realpreis von Lithiumkarbonat für den Zeitraum 1960–2015 (Datenquelle: BGR 2017).

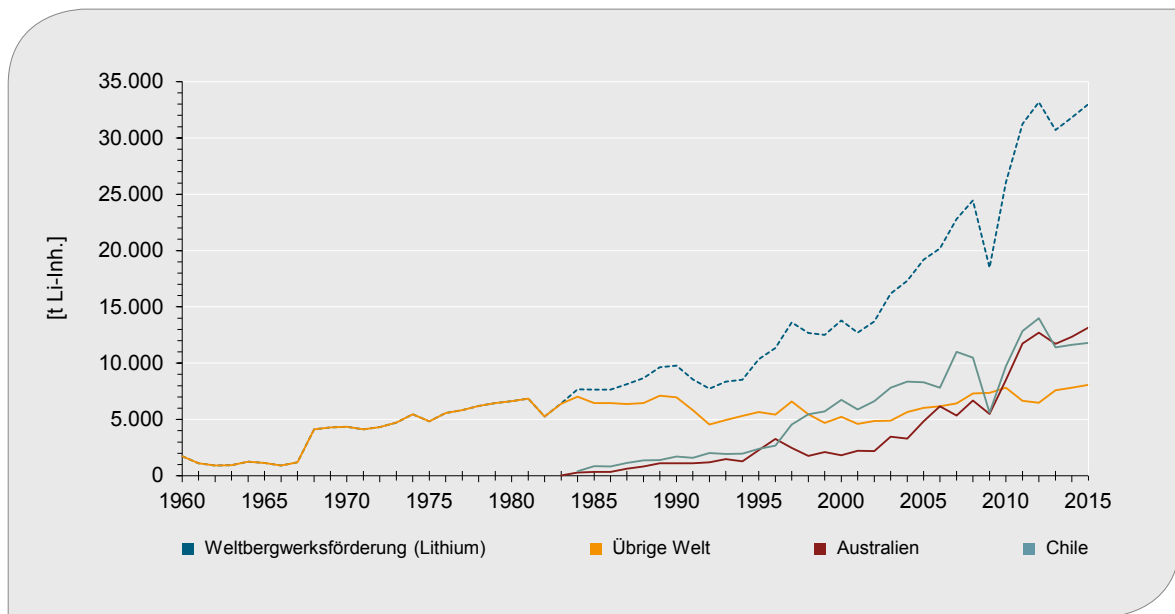


Abb. 26: Entwicklung der Bergwerksförderung von Lithium der Länder Australien und Chile im Vergleich zu der übrigen Welt zwischen 1960 und 2015 (Datenquelle: BGR 2017, ROSKILL 2016a).

(–26,9 %). Im Folgejahr (2010) betrug die Förderung bereits wieder 26.045 t Li-Inh. und lag somit etwa 3 % über dem Niveau des Jahres 2008. Vor allem in Chile nahm die Förderung kurzfristig stark ab. Seit diesem Ereignis ist eine starke Zunahme in der weltweiten Förderung dieses Rohstoffs zu beobachten. Allein in den letzten fünf Jahren (2010–2015) ist ein Plus von rund 65 % zu verzeichnen. Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von rund 4,9 %. Vor allem die starke Zunahme der Förderung in Australien ist hier zu nennen. Lag diese 2010 bei rund 8.500 t Li-Inh. (Marktanteil 32,7 %), so stieg sie mit jährlich 9,1 % auf rund 13.160 t Li-Inh. (2015). Somit ist das Land mit einem Anteil von rund 39,9 % Weltmarktführer.

Chile als zweitwichtigstes Förderland hatte 2010 mit ca. 9.726 t Li-Inh. noch einen Marktanteil von 37,4 % und war entsprechend Marktführer vor Australien. Seit 2010 wuchs die Förderung mit nur etwa 3,9 % pro Jahr auf 11.788 t Li-Inh. (2015). Der Marktanteil des Landes sank somit auf 35,7 % und Australien konnte Chile als wichtigstes Förderland ablösen. Auf beide Länder zusammen entfällt ein Marktanteil von rund 75,6 %, was eine Zunahme von 5,7 % gegenüber dem Jahr 2010 (69,9 %) bedeutet. Länder, die ihre Förderung in diesem Zeitraum, wenn auch auf niedrigem Niveau, ausbauen konnten, sind: Simbabwe (+12 %,

2,3 % p. a.), Argentinien (+10,4 %, 2 % p. a.), China (+7,1 %, 1,4 % p. a.) und Portugal (+1 %, 0,2 % p. a.). In den USA (–3,2 % p. a.) und in Brasilien (–12,6 % p. a.) nahm die Förderung hingegen ab.

2.3.1.2 Produktionskosten

Mineral-Konzentrate

Die Produktionskosten für Lithium-haltige Mineral-Konzentrate variieren aufgrund unterschiedlicher Faktoren zum Teil sehr stark. Eine direkte Vergleichbarkeit der Produzenten wird dadurch erschwert.

Tendenziell liegen die Kosten pro Tonne zwischen 250 und 400 US\$ (ROSKILL 2016a). Die niedrigsten Produktionskosten weist das Bergwerk Greenbushes (Talison Lithium) in Australien auf. In einer Feasibility-Studie aus dem Jahr 2012 gab das Unternehmen Talison Lithium Kosten von rund 140 US\$/t Konzentrat an. Vergleichbare Kosten werden von INDUSTRIAL MINERALS (2017) für das Jahr 2016 genannt.

Für Mt. Marion und Mt. Cattlin gibt ROSKILL (2016a) Produktionskosten von rund 225 US\$/t

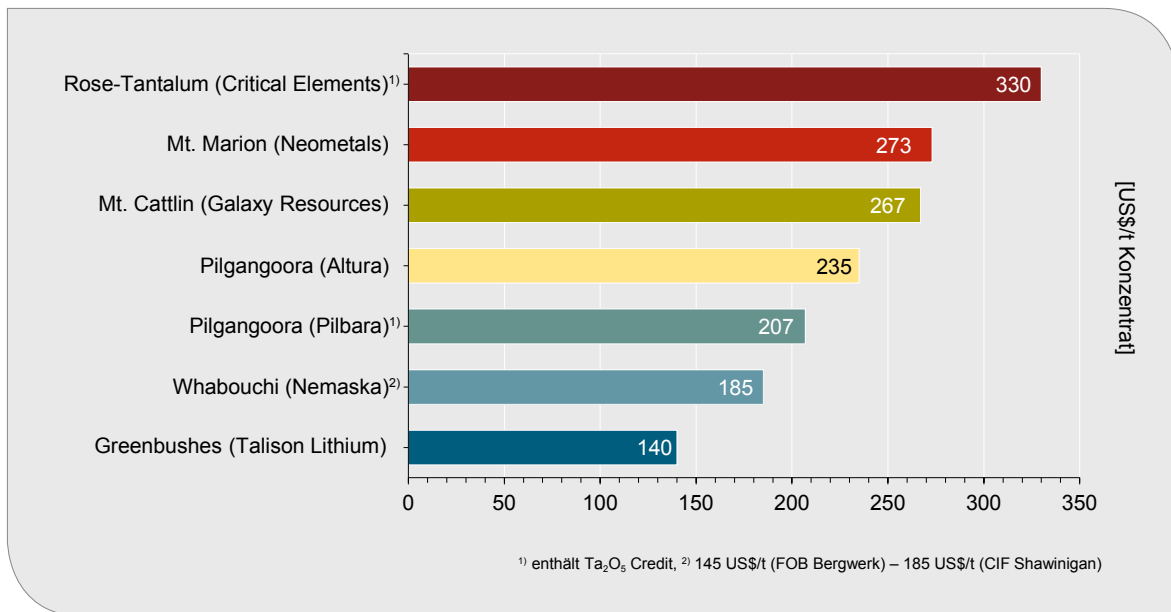


Abb. 27: Vergleich der Produktionskosten von Lithium-haltigen Mineral-Konzentraten 2016 (Datenquelle: ROSKILL 2016a, INDUSTRIAL MINERALS 2017, PILBARA MINERALS 05/2017, ALTURA MINING 2016, NEMASKA LITHIUM 05/2017).

bzw. 280 US\$/t an (Abb. 27). Nach Angaben von INDUSTRIAL MINERALS (2017) liegen die Kosten von Mt. Marion und Mt. Cattlin abweichend bei rund 273 US\$/t bzw. 267 US\$/t Konzentrat (Abb. 27). Das australische Unternehmen Pilbara Minerals gibt für sein zukünftiges Spodumen-Projekt Pilgangoora Produktionskosten von rund 207 US\$/t Konzentrat an, wobei hier noch Tantal berücksichtigt wird (PILBARA MINERALS 05/2017). Das benachbarte Unternehmen Altura geht für sein Pilgangoora-Projekt von Produktionskosten von rund 235 US\$/t Konzentrat aus (ALTURA MINING 2016). Nemaska Lithium weist für sein Whabouchi-Projekt Spodumen-Konzentratpreise von 145 US\$/t (FOB Bergwerk) bis 185 US\$/t (CIF Shawinigan) aus (NEMASKA LITHIUM 05/2017). Für das Projekt Rose-Tantalum werden von ROSKILL (2016a) Kosten von rund 330 US\$/t angenommen. Die Produktionskosten chinesischer Unternehmen sind nicht genau bekannt, liegen jedoch nach Angaben von ROSKILL (2016a) deutlich über den australischen Firmen.

Lithiumverbindungen (LCE)

Die Produktionskosten wichtiger Lithiumverbindungen wie Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid hängen maßgeblich von ihrer Herstellungsart ab. Die Gewinnung dieser Zwischenprodukte erfolgt

entweder direkt aus Solen (z. B. Südamerika) bzw. Salzseen (z. B. Zabuye) oder aus Mineral-Konzentraten (z. B. Australien). Prinzipiell liegen die Kosten für die Gewinnung aus Festgesteinsvorkommen bzw. Mineral-Konzentraten deutlich über den Kosten der Gewinnung aus Solen. Die größten Kostenfaktoren bei beiden Herstellungsarten stellen notwendige Chemikalien dar (Abb. 28).

Der Abbau und die Herstellung von Mineral-Konzentraten aus Festgestein (Pegmatiten) liegen bei rund 21 % der Gesamtproduktionskosten. Das Fördern und Aufkonzentrieren der Solen (Solarevaporation) ist günstiger und macht einen Kostenanteil von rund 16 % der Gesamtproduktionskosten aus.

Der durchschnittliche Kostenanteil von notwendigen Prozesschemikalien macht bei Festgesteinsvorkommen nach ROSKILL (2016a) ca. 43 % der Gesamtkosten aus. Bei der Solegewinnung liegt der Anteil mit rund 54 % deutlich darüber (Abb. 28: Vergleich der Kostenanteile für die Herstellung von Lithiumkarbonat aus Sole und aus Festgestein 2015 (Datenquelle: ROSKILL 2016a)).

Die Bereitstellung von Ausgangsmaterialien (Mineral-Konzentrate, konzentrierte Sole) sowie notwendige Prozesschemikalien machen demnach in

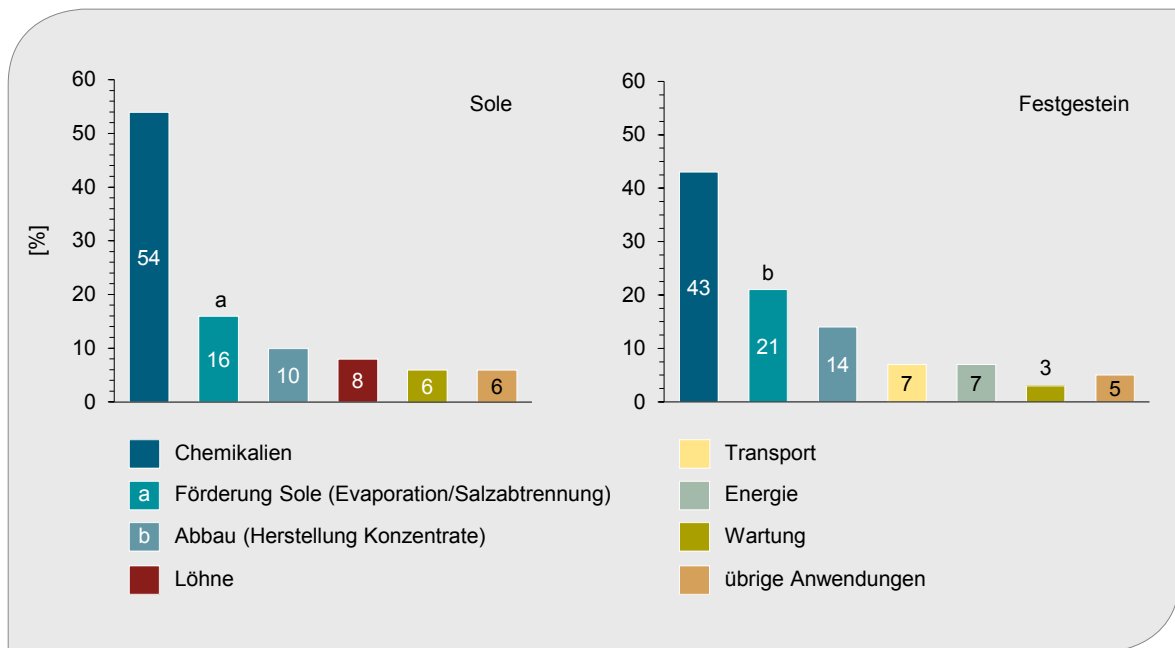


Abb. 28: Vergleich der Kostenanteile für die Herstellung von Lithiumkarbonat aus Sole und aus Festgestein 2015 (Datenquelle: ROSKILL 2016a).

Summe etwa 64 % (Festgestein) und 70 % (Sole) der gesamten Produktionskosten aus. Hierbei gilt es anzumerken, dass die Preise für Konzentrate seit 2015 bzw. 2016 stark angestiegen sind (siehe Kap. 2.2, S. 43). Dies ist vor allem für chinesische Produzenten, die auf Importe von Mineral-Konzentraten angewiesen sind, ein wesentlicher Kostenfaktor.

Bei Solevorkommen stellen darüber hinaus die Menge und Art an Verunreinigungen wie bspw. Magnesium und Sulfat einen wesentlichen Kostenfaktor in der Produktion dar. Wünschenswert sind Solen, die niedrige Mg/Li- und niedrige SO_4/Li -Verhältnisse bei gleichzeitig hohen Lithiumgehalten aufweisen (Tab. 4, S. 20), da diese mit einem geringeren Einsatz an Chemikalien prozessiert werden können (Abb. 29).

Aus diesem Grund sind die Produktionskosten pro Tonne LCE der Unternehmen Albemarle (Rockwood Lithium Ltda.) und SQM in Chile (Salar de Atacama) am niedrigsten. Laut ROSKILL (2016a) lagen diese 2015 bei rund 2.000 US\$/t (Albemarle) bzw. ca. 1.800 US\$/t (SQM). Die DEUTSCHE BANK (2016) setzt die Produktionskosten für Albemarle und SQM im Jahr 2016 mit ca. 2.500 US\$/t bzw. knapp 3.000 US\$/t an.

Die Produktionskosten der argentinischen Unternehmen liegen tendenziell über den Kosten der chilenischen Firmen. Zum einen unterscheiden sich die geförderten Solen in ihren Zusammensetzungen (Tab. 4, S. 20), zum anderen herrschen in Argentinien andere klimatische Bedingungen, die z. B. die Evaporationsraten der geförderten Solen beeinflussen. So verwendet FMC im Salar de Hombre Muerto zusätzlich eine dem Evaporationsprozess vorgeschaltete Adsorptionsanlage, um störende Verunreinigungen zu entfernen, was zusätzliche Kosten verursacht. Laut ROSKILL (2016a) lagen die Cash-Costs von FMC im Jahr 2015 bei rund 3.800 US\$/t. Das Unternehmen Orocobre (Salar de Olaroz) beziffert seine Produktionskosten aktuell mit rund 3.525 US\$/t (OROCOBRE 05/2017). Die DEUTSCHE BANK (2016) setzt die Produktionskosten für FMC und Orocobre 2016 mit jeweils knapp unter 4.500 US\$/t an. Darüber hinaus spielen Wechselkurse der Landeswährung sowie die Inflation eine wichtige Rolle.

Für Greenbushes (JV Albemarle & Tianqi) gibt die DEUTSCHE BANK (2016) Produktionskosten pro Tonne LCE von etwa 4.800 US\$/t an (Abb. 30).

In den USA wird Lithium seit den 1960er Jahren in Silver Peak (Nevada) aus Solen gewonnen. Im Jahr 2009 lagen die Produktionskosten bei

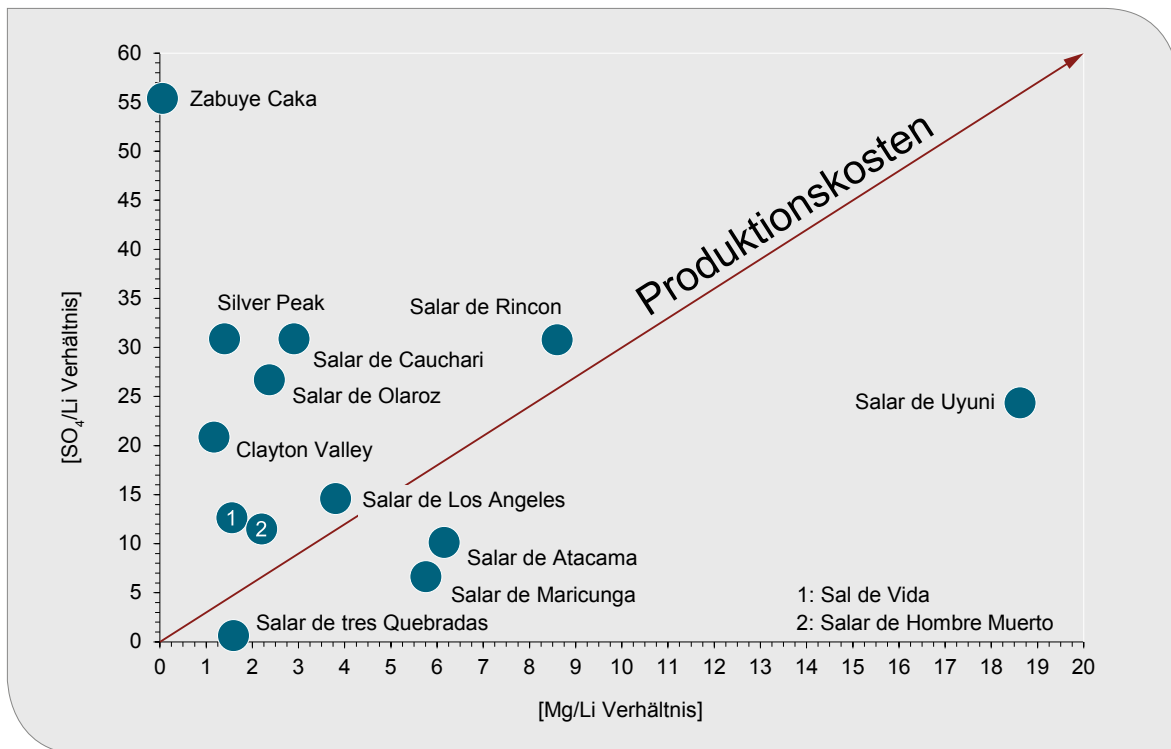


Abb. 29: Vergleich der SO₄/Li- und Mg/Li-Verhältnisse verschiedener Vorkommen
(Datenquelle: GARRET 2004, ROSKILL 2016a, BGS 2016, NEOLITHIUM 2017, Li₃ 2016).

Ø 2.650 US\$/t LCE. Für das Jahr 2015 gibt Roskill (2016a) Kosten von rund 3.200 US\$/t LCE an. Das Unternehmen Galaxy Resources beziffert die Produktionskosten seines potenziellen Sal-de-Vida-Projekts aktuell mit ca. 3.370 US\$/t LCE (Galaxy Resources 04/2017). Für das potenzielle Projekt Rose-Tantalum geht die Firma Critical Elements von Produktionskosten in Höhe von ca. 2.900 US\$/t LCE (inkl. Tantal Credits) aus (CRITICAL ELEMENTS 02/2017). Die chinesischen Produzenten in Tibet (Zabuye) und Tajjinaier lagen 2009 mit ihren Produktionskosten laut Yaksic & Tilton (2009) bei etwa 2.430 US\$/t LCE bzw. 2.650 US\$/t LCE. Diese Lagerstätten weisen geringere Lithiumgehalte als bspw. die Salare in Chile und Argentinien auf. Entsprechend aufwendig ist die Aufbereitung. Laut Roskill (2016a) lagen die Kosten in Zabuye im Jahr 2015 bei rund 3.700 US\$/t LCE. In Tajjinaier und Quinghai werden Produktionskosten von jeweils über 5.000 US\$/t LCE angegeben. Chinesische Produzenten wie Tianqi und Ganfeng, die Spodumen-Konzentrate aus Australien importieren, weisen Produktionskosten von knapp unter 5.000 US\$/t LCE auf. Basis dieser Angaben sind Konzentratpreise von ca. 430 US\$/t. Die Deutsche Bank (2016) setzt die Produktionskos-

ten der chinesischen Produzenten 2016 mit ca. 5.800–7.000 US\$/t an.

In Abb. 30 sind zusätzlich die Cash Costs der wichtigsten Lithium-Produzenten für das Jahr 2016 im Vergleich zur Produktionsmenge basierend auf Daten der Deutsche Bank (2016) angegeben. Die Bergwerke Mt. Marion und Mt. Cattlin, die ihre Produktion 2016 aufgenommen haben, sind hierbei noch nicht berücksichtigt. Ebenfalls unberücksichtigt sind Projekte in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium.

Aus der Analyse der Produktionskosten geht eindeutig hervor, dass die chilenischen Unternehmen Rockwood Lithium Ltda. (Albemarle) und SQM einen großen Vorteil gegenüber Mitbewerbern haben. Im Gegenzug nehmen chinesische Unternehmen das obere Ende der Kostenkurve ein.

Prinzipiell gilt, dass sich sämtliche neuen Bergwerke und Projekte, unabhängig von der Art des Vorkommens bzw. der Lithiumgewinnung, in ihren Produktionskosten an den etablierten Produzenten messen lassen müssen.

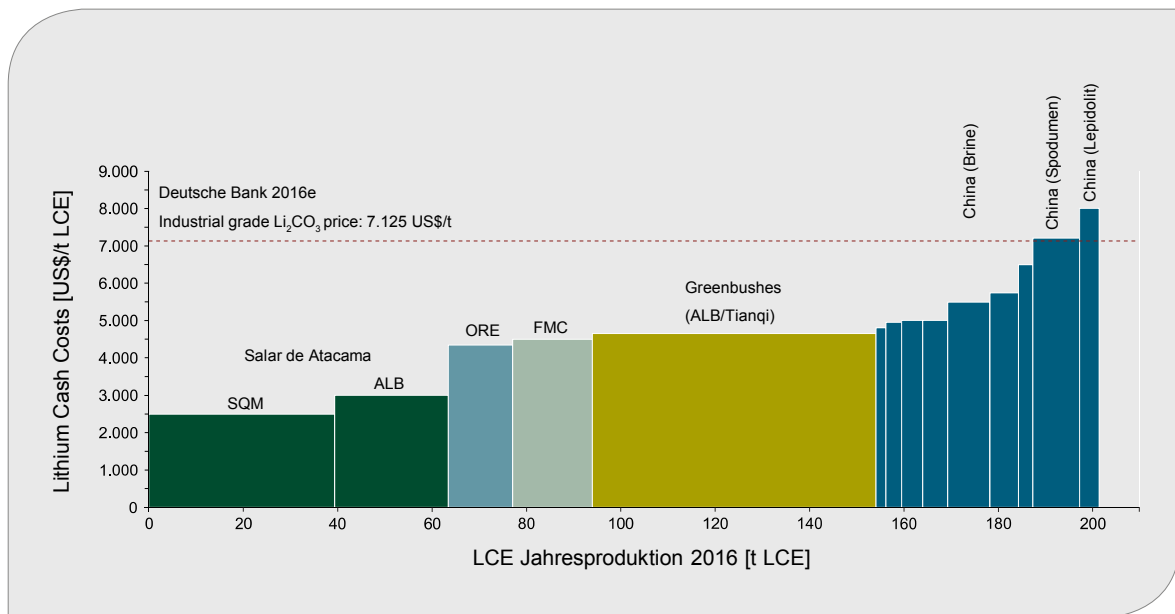


Abb. 30: Cash-Cost Verteilung für die wichtigsten Produzenten des Jahres 2016
(Datenquelle: DEUTSCHE BANK 2016).

2.3.1.3 Weiterverarbeitende Produktion

Die Weiterverarbeitung Lithium-haltiger Solen zu Lithiumkarbonat oder Lithiumhydroxid erfolgt zum überwiegenden Teil vor Ort durch die Unternehmen, die sie auch fördern. Da die Lithiumkonzentration in den konzentrierten Solen im Bereich von etwa 6 % liegt, ist ein langer Transport zur Weiterverarbeitung aus betriebswirtschaftlichen Gründen wenig sinnvoll.

Die Weiterverarbeitung von Lithium-haltigen Mineral-Konzentraten zu Lithiumkarbonat oder Lithium-

hydroxid findet hingegen vorrangig im asiatischen Raum statt. Zusätzlich werden diese Konzentrate in Märkte exportiert, in denen sie direkt eingesetzt werden können (z. B. Glas- und Keramikindustrie).

Der Herstellungsprozess von Lithiumkarbonat bzw. Lithiumhydroxid wurde bereits in Kap. 1.2 ausführlich erläutert. In Tab. 15 sind die Produktionsmengen und Kapazitäten der wichtigsten Länder vergleichend aufgeführt. Die geringe Kapazitätsauslastung Argentiniens ergibt sich aus der im Jahr 2015 erzielten geringen Produktionsmenge der Firma Orocobre im Vergleich zur angegebenen Kapazität der Anlage (ca. 3.300 t Li-Inh.).

Tab. 15: Produktion von Lithiumverbindungen vs. Produktionskapazitäten 2015
(Datenquelle BGR 2017, ROSKILL 2016a).

	Kapazität [t Li-Inh./a]	Produktion [t Li-Inh./a]	Weltanteil 2015 [%]	Auslastung [%]
Chile ¹	13.536	11.788	44,1	86,9
China ^{1, 2}	18.556	10.434	39,1	56,3
Argentinien ¹	8.180	3.516	13,2	43
USA ¹	1.130	846	3,2	74,9
Brasilien ²	188	113	0,4	60,1
Übrige Welt ³	38	19	< 0,1	k. A.
Welt⁴	41.623	26.715	100	

¹ Sole, ² Mineral-Konzentrate, ³ inklusive Recyclinganteil, ⁴ geringe Abweichung durch Rundung möglich

2.3.1.4 Lagerhaltung

Zur Lagerhaltung von Lithium bei Unternehmen und staatlichen Institutionen liegen keine ausreichenden Informationen vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Primärproduzenten gewisse Lagerbestände besitzen, um eine schwankende Förderung zu kompensieren und sicherzustellen, dass die Weiterverarbeitung entlang der Wertschöpfungskette nicht unterbrochen wird.

Die US Defense National Agency (früher US Defense National Stockpile Center) plante für das Jahr 2016 Lithium in Form von ca. 300 kg Lithiumkobaltoxid und 1.080 kg Lithiumnickelkobaltoxid einzulagern (USGS 2017).

2.3.1.5 Recycling

Für das weltweite Gesamtangebot von Lithium spielt das Recycling, und damit das Angebot aus dem Sekundärsektor, bisher keine wesentliche Rolle. Ursächlich hierfür sind die großen primären Ressourcen/Reserven sowie die relativ kostengünstige Gewinnung (MARTIN et al. 2017). Auch die dissipative Verteilung des Lithiums sowie technologische Ansprüche an die Reinheit für bestimmte Anwendungen in den Endprodukten spielen eine wesentliche Rolle in diesem Kontext.

Laut UNEP (2011) liegt der Sekundäranteil an der gesamten Produktion (Recycling Content, RC) von Lithium bei weniger als 1 %. Der Anteil des Altschrotts am Gesamtschrott (Old Scrap Ratio, OSR) liegt bei Lithium ebenfalls bei weniger als 1 %. Entsprechend niedrig ist die End-of-Life-Recyclingrate (EOL-RR). Diese liegt bei Lithium bei unter 1 % und ist somit vernachlässigbar.

Auch die Recyclingkapazitäten für LIB sind momentan noch unbedeutend. Initiativen wie die Europäische Batterierichtlinie 2006/66/EC, die WEEE-Richtlinie 2012/19/EU, die RoHS-Richtlinie 2011/65/EU u. a. werden aber mittelfristig zum Ausbau des Recyclings führen (MARSCHIEDER-WEIDEMANN 2016).

Lithium-Ionen-Batterien

Nach MARTIN et al. (2017) liegt das größte Recyclingpotenzial für Lithium in wiederaufladbaren LIB.

Zu diesem Thema sind in den vergangenen Jahren unterschiedlichste Forschungsprojekte durchgeführt worden (z. B. LithoRec, LithoRec II, LiBRI, ECOBATREC). Eine detaillierte Beschreibung dieser Projekte erfolgt an dieser Stelle nicht, jedoch sei auf die entsprechenden frei verfügbaren Publikationen bzw. Abschlussberichte verwiesen.

In Abb. 31 sind die grundlegenden Verfahrenswege zum Batterierecycling schematisch dargestellt. Diese beinhalten die Prozessschritte Vorbehandlung (Zerlegung), Auftrennung und Raffination/Konzentration zur Rückgewinnung der wertgebenden Inhalte.

Eine großtechnische Recyclinganlage für LIB im Industriemaßstab befindet sich bei dem Unternehmen Umicore in Hoboken (Belgien). Diese hat eine Kapazität von ca. 7.000 t Batterien pro Jahr. Dies entspricht in etwa 250 Mio. Mobiltelefonen (30 g pro Gerät), 200.000 HEV (ca. 35 kg pro Fahrzeug) oder 35.000 EVs (ca. 200 kg pro Fahrzeug) (HAGELÜKEN 2016). Vor allem die Metalle Nickel, Kobalt und Mangan werden hierbei in einem kombinierten Prozess (Pyrometallurgie, Hydrometallurgie) zurückgewonnen. In einem ersten Schritt werden die Batterien pyrometallurgisch aufgeschlossen. Dieser Prozessschritt ist energieeffizient darstellbar und hat den Vorteil, dass unterschiedliche Zusammensetzungen recycelt werden können. Eine sortenreine Trennung nach Kathodenchemie (LCO, NMC, NCA usw.) ist nicht notwendig. Es folgt der hydrometallurgische Aufschluss der Metalllegierungen, die Raffination der Metalle Kobalt, Nickel und Kupfer bzw. die Herstellung von deren Metallsalzen.

Aufgrund der geringen Mengen an Lithium in LIB, den komplexen Verbindungen bzw. hohen Anforderungen an Reinheiten sowie des im Vergleich zu anderen enthaltenen Metallen wie Nickel und Kobalt deutlich niedrigeren monetären Wertes lohnt sich eine ökonomische Rückgewinnung aktuell noch nicht. Das enthaltene Lithium wird daher mit anderen Reststoffen in der Prozessschlacke gebunden und in der Bauindustrie als mineralischer Zuschlagstoff in Fertigbeton verwendet. Die Rückgewinnung von Lithium und die Herstellung von Lithiumchemikalien zur Verwendung in neuen LIB sind jedoch zumindest technisch bereits möglich. Bei einem entsprechenden Markthochlauf der E-Mobilität, der damit verbundenen Bereitstellung entsprechender Recyclingmengen sowie Preis-

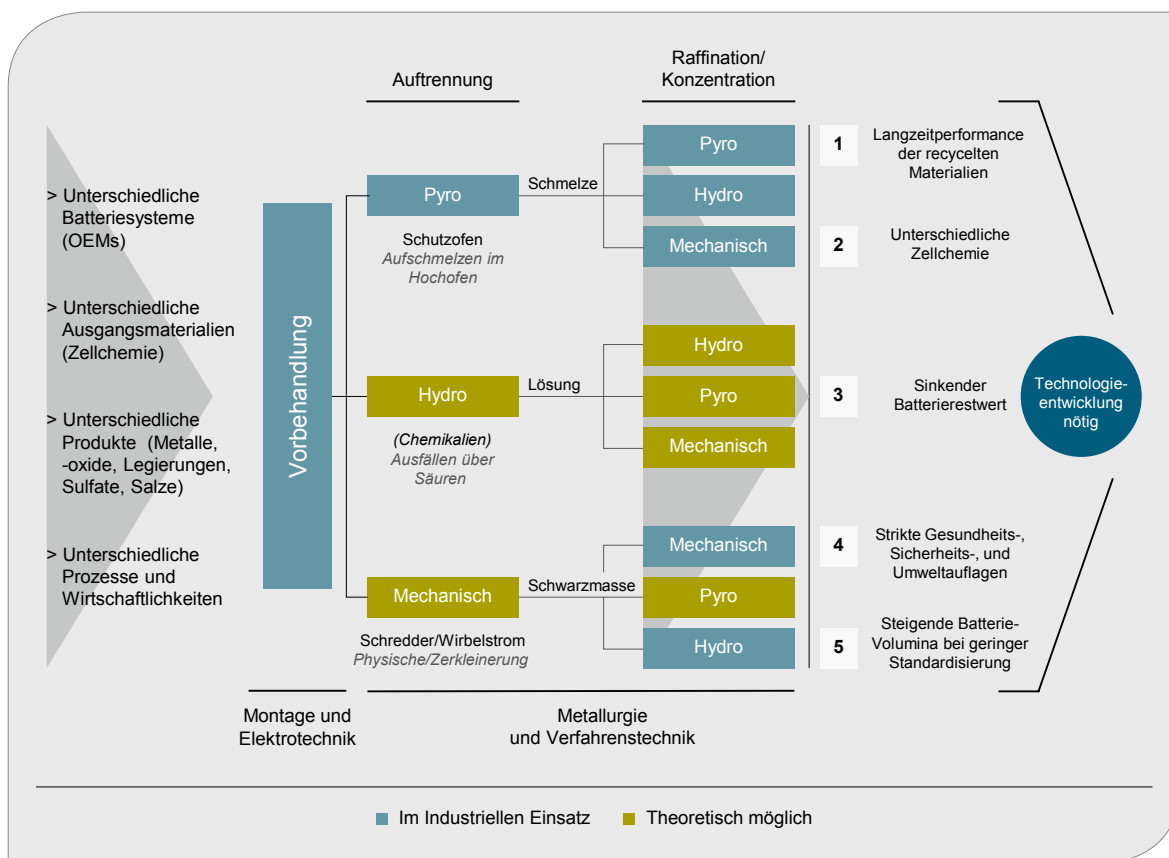


Abb. 31: Schematische Übersicht möglicher Verfahrenswege des Recyclings von LIB (modifiziert nach ROLAND BERGER GmbH 2017).

entwicklung der Rohstoffe kann somit auch die Rückgewinnung von Lithium wirtschaftlich attraktiv werden.

In Deutschland betreibt die Accurec Recycling GmbH in Mülheim a. d. Ruhr eine Recyclinganlage für NiCd- und NiMh-Batterien. In Krefeld befindet sich eine für ca. 10 Mio. € gebaute neue Recyclinganlage für LIB. Nach Angaben des Unternehmens hat Accurec auf der diesjährigen IFAT (Weltleitmesse für Umwelttechnologien) einen Vertrag mit Currenta über die thermische Vorbehandlung (Pyrolyse) von LIB getroffen. Currenta wird im Rahmen dieses Vertrages Altbatterien in einem Drehrohrofen aufschließen. Bei diesem Prozess gasen der Elektrolyt und Kunststoffe aus. Die so aufgeschlossenen Zellen werden zur weiteren Behandlung an Accurec nach Krefeld geliefert (ACCUREC 2017).

Neben Umicore und Accurec betreiben die Unternehmen Recupyl und Euro Dieuze in Frankreich das Recycling von Altbatterien inkl. LIB.

Am Institut für Technische Chemie der TU Freiberg wurde in den letzten Jahren aktiv an der Gewinnung von Lithium aus Zinnwaldit geforscht. Im Rahmen dieser Aktivitäten wurde ein entsprechender Produktionsprozess entwickelt und patentiert (siehe Kap. 1.2, S. 22), welcher sich leicht auf das Recycling von LIB übertragen lässt (Abb. 4) (pers. Mitt. Prof. Martin Bertrau 05/2017). Nach einem Entladungsprozess werden die Batterien zerkleinert und Gehäusematerialien über Magnetscheidung, Wirbelstromsortierung und Dichtentrennung abgetrennt. Die verbleibende Schwarze Masse, welche die wertgebenden Metalle Nickel, Kobalt und Kupfer, aber auch Lithium enthält, wird danach unter Druck und Temperatur mit Wasser und scCO_2 behandelt und aufgeschlossen. Auf diese Weise können die Metalle und auch Lithium in Form von Lithiumkarbonat gewonnen werden.

Prinzipiell gelten besondere Basisanforderungen für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien (HAGELÜKEN 2016). Die Verfahren zur Rückgewinnung müssen selbstverständlich umweltgerecht

und energieeffizient darstellbar sein. Der Prozess muss darüber hinaus hohe Recyclingraten zulassen und ein Produkt zur Verfügung stellen, das marktfähig ist und bspw. in Batterien wieder verwendet werden kann (Closed-Loop).

Aufgrund der Charakteristik der LIB müssen hohe Sicherheitsstandards beim Transport und dem Recycling selbst gelten (FRAUNHOFER ISI 2015). Hier gilt es bspw., hohe elektrische Restladungen sowie die Zusammensetzung der Batterien (Kathoden, Elektrolytsubstanzen) zu beachten. Zusätzlich müssen diese Recyclingprozesse kompatibel zu den unterschiedlichen aktuell verfügbaren Batterietypen und somit unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen sein (HAGELÜKEN 2016).

Das zukünftige Recycling von Batteriesystemen aus Elektromobilen bzw. Hybridfahrzeugen stellt dementsprechend besondere Ansprüche an die Industrie. Die Batteriesysteme müssen vor ihrer Verwertung bis auf Modul- bzw. Zellebene zerlegt werden, da im gesamten System weitere Komponenten wie Leistungs- und Steuerungselektronik, Kühlsysteme, Verkabelung der Module enthalten sind. Die Trennung einzelner Komponenten kann sich jedoch schwierig gestalten, da diese im besten Fall verschraubt und im schlechtesten Fall verklebt oder in Harzen bzw. Kunststoffen eingegossen sind. Die Zellen bzw. Module sind häufig fest mit Kühlelementen oder stabilisierenden Strukturen verbunden, um eine verbesserte Kühlleistung bzw. mechanische Stabilität zu gewährleisten (LIBRI 2011).

Eine Trennung in einzelne Komponenten oder Materialgruppen führt zu einer effizienteren Rückgewinnung. Gehäusematerialien (Stahl, Aluminium, Plastik), Kabel (Kupfer) Elektronikkomponenten (Gold, Silber, PGM) können so direkt in die entsprechenden Recyclingkreisläufe eingebracht werden.

Auf Systemebene wird das Batteriedesign für ein späteres Recycling bereits berücksichtigt und entsprechend weiterentwickelt. Dies spielt auch in der Wartungsfreundlichkeit solcher Systeme in Fahrzeugen oder stationären Speichern in Bezug auf Austausch und Reparatur eine sehr wichtige Rolle. Auf der Zellebene wird eine spätere Rückgewinnung der eingesetzten Rohstoffe bisher nur sehr bedingt berücksichtigt. Hier stehen aktuell Parameter wie Sicherheit, Energie- und Leistungsdichte,

Lade- und Entladeverhalten, Temperaturverhalten eine übergeordnete Rolle (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016).

Um das Jahr 2020 werden nach Marscheider-Weidemann et al. (2016) günstigere Recycling- und Trennverfahren zur Verfügung stehen. Ab diesem Zeitfenster sollten dann auch großmaßstäbliche Recyclinganlagen zur Verfügung stehen. Vor allem das spätere Recycling von Batterien aus E-Fahrzeugen wird einen großen Stellenwert einnehmen, umso mehr, da diese Technologie nachhaltig und umweltschonend sein soll. Dies kann jedoch nur gelingen, wenn es einen geschlossenen bzw. teilweise geschlossenen Kreislauf zwischen Produktion, Ersteinsatz, Zweiteinsatz und Wiederverwertung dieser Batterien geben wird. Existierende Recyclinggesetze (z. B. Batteriedirektive) können (ggf. nach Revision) in diesem Zusammenhang wichtige Anreize für die Rückgewinnung wichtiger Rohstoffe aus Batterien und die Etablierung einer Recyclingindustrie setzen.

Das Angebot an Sekundärrohstoffen, bezogen auf Altbatterien, wird jedoch begrenzt sein. Es kann maximal nur die Menge rückgewonnen werden, die auch zuvor eingesetzt wurde. Zu berücksichtigen sind dabei die Lebensdauer der Produkte, und somit eine zeitliche Verzögerung bis zur Verwertung, sowie Verluste im Recyclingprozess. Nach WANGER (2011) könnten im Jahr 2030, je nach Recyclingerfolg, 10–25 % des Lithiumbedarfs über den Sekundärsektor gedeckt werden.

Übrige Anwendungen

Im Verwendungsbereich der Keramik/Glaskeramik wird Lithium nicht zurückgewonnen. Glasbruch kann jedoch, wenn er sortenrein ist, recycelt werden (Abb. 32).

In Schmierstoffen wird Lithium als chemische Verbindung (Additiv) eingesetzt (siehe Kap. 1.3, S. 29). Eine Rückgewinnung dieser Verbindungen bzw. von Lithium findet nicht statt. Schmierstoffe wie Öle und Fette können jedoch prinzipiell aufbereitet und erneut eingesetzt werden. Öle werden dabei gereinigt und von Verunreinigungen befreit. Nach der erneuten Zugabe von Additiven und anderen Zusatzstoffen können diese Öle wieder verwendet werden. Die abgeschiedenen Verunreinigungen werden deponiert (ROSKILL 2016a).



Abb. 32: Sortenreiner Glasbruch bei einem deutschen Recyclingunternehmen (v. l. Spiegelglas, h. l. und h. r. Lithium-haltiger Glasbruch (Quelle: BGR 2017)).

2.3.2 Nachfrage

Die Gesamtnachfrage nach Lithium wird zum überwiegenden Teil über das Primärangebot der Bergwerksförderung gedeckt. Der Sekundärsektor spielt in diesem Zusammenhang keine Rolle. Je nach verwendeter Quelle schwanken die Angaben zur Gesamtnachfrage zum Teil beträchtlich.

Nach ROSKILL (2016a) lag die Gesamtnachfrage nach Lithium im Jahr 2015 bei etwa 33.300 t Li-Inh. (177.000 t LCE) (Abb. 33). Gegenüber dem Vorjahr (31.240 t Li-Inh.) entspricht dies einem Zuwachs von ca. 6,2 %. Für das Jahr 2017 geht das Consultingunternehmen von einer Gesamtnachfrage von etwa 35.050 bis 58.790 t Li-Inh. aus (ROSKILL 2013). Dies würde gegenüber den Ausgangsdaten aus dem Jahr 2015 ein Plus von 5 % bzw. 44 % darstellen. Der Hauptgrund für diese Spannweite ist in der unvorhersehbaren Entwicklung wichtiger Schlüsselanwendungen wie bspw. der E-Mobilität zu suchen.

Eine zu Roskill vergleichbare Gesamtnachfrage für 2015 wird von MACQUARIE (2016) angegeben (ca. 32.700 t Li-Inh., 173.750 t LCE). Die Prognose für 2016 liegt bei ca. 34.600 t Li-Inh. (184.600 t LCE), was einem Plus von etwa 6 % gegenüber dem Vorjahr entsprechen würde. Für 2017 geht der Analyst von einer Gesamtnachfrage von rund 38.240 t Li-Inh. (203.400 t LCE) aus, was einem Plus von 14,6 % gegenüber 2015 entspricht.

STORMCROW (2016) gibt die Gesamtnachfrage 2015 im Vergleich zu Roskill und Macquarie mit ca. 36.400 t Li-Inh. (193.750 t LCE) deutlich höher an. Im Vergleich zum Vorjahr (33.400 t Li-Inh.) ist hier eine Zunahme um 6,7 % zu verzeichnen. Für das Jahr 2016 prognostiziert dieser Analyst eine Gesamtnachfrage von ca. 40.300 t Li-Inh., was einem Plus von knapp 11 % gegenüber 2015 entsprechen würde. Die Prognose für 2017 liegt bei rund ca. 43.800 t Li-Inh. (233.100 t LCE).

Die DEUTSCHE BANK (2016) beziffert die Gesamtnachfrage nach Lithium für das Jahr 2015 mit rund 34.600 t Li-Inh. (184.000 t LCE). Für das Jahr

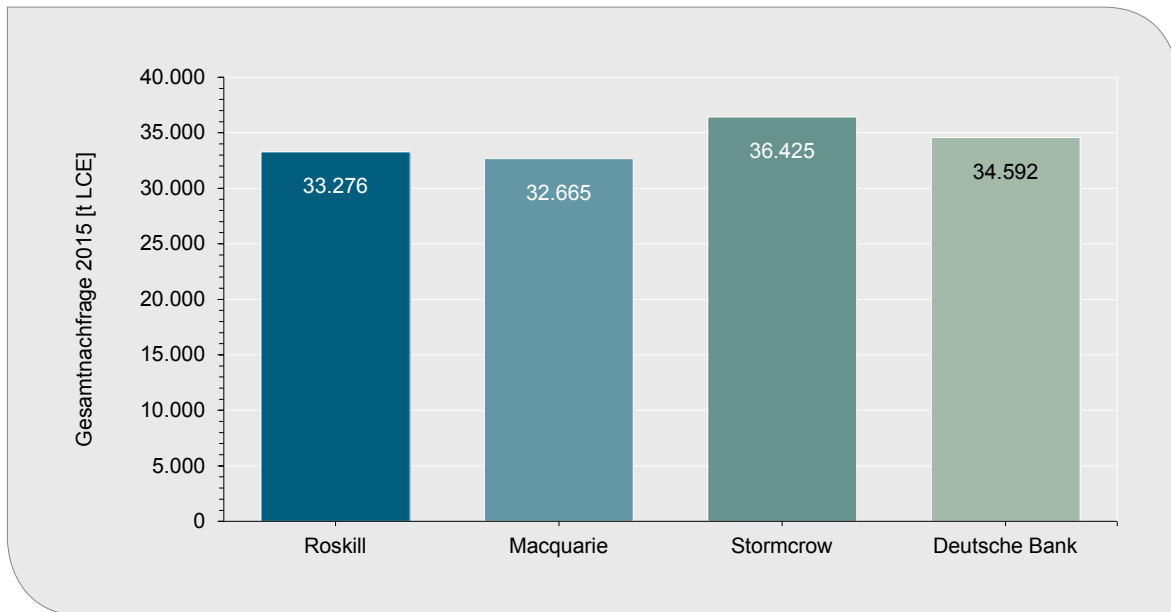


Abb. 33: Gesamtnachfrage nach Lithium 2015

(Datenquelle: ROSKILL 2016a, MACQUARIE 2016, STORMCROW 2016, DEUTSCHE BANK 2016).

2016 wird eine Nachfrage von ca. 39.300 t Li-Inh. (209.000 t LCE) prognostiziert, was einem Plus von rund 13,6 % gegenüber 2015 entsprechen würde. Für das Folgejahr (2017) wird eine Gesamtnachfrage von rund 44.750 t Li-Inh. (238.000 t LCE) angenommen, was einem Plus von rund 29 % gegenüber 2015 gleichkommen würde.

Aufgegliedert nach Regionen wurde die höchste Nachfrage nach Lithium im Jahr 2015 in China (40 % Anteil) generiert, gefolgt von Europa (21 %), Japan (11 %), Südkorea (11 %) und Nordamerika (8 %) (ROSKILL 2016a). Etwa 6 % der Gesamtnachfrage entfallen auf die Kategorie „übrige Länder“. Hintergrund für den hohen asiatischen Anteil ist die in Asien angesiedelte Industrie zur Herstellung von wiederaufladbaren Batterien bzw. den dafür benötigten Ausgangsprodukten wie Kathoden-, Anoden- oder Elektrolytmaterialien. Die hohe Nachfrage in Europa ist mit der Glaskeramik- und Glasindustrie zu erklären.

Während der Verbrauch in China zwischen 2012 und 2015 um 38 % zugenommen hat und auch in Südkorea im gleichen Zeitraum eine Zunahme von ca. 26 % zu beobachten war, zeigte sich im gleichen Zeitraum für die übrigen Länder ein kumulatives Wachstum von rund 8 %.

Es gilt anzumerken, dass der Verbrauch in Südkorea im Vergleich zu China von einem deutlich niedrigeren Niveau aus ansteigt. Der markant angestiegene Verbrauch Chinas ist ein klares Indiz für die verlagerte Wertschöpfungskette der Batterieproduktion für den gesamten Weltmarkt dorthin, aber auch für eine sehr starke lokale Nachfrage in China selbst.

Nachfrage nach Anwendungsgebieten

Die höchste Nachfrage nach Lithium entfiel im Jahr 2015, unabhängig von der verwendeten Quelle, auf die Anwendungsbereiche wiederaufladbare Batterien, Keramik/Glaskeramik (kumuliert) und Schmierstoffe (Abb. 34). Die Nachfrage aus den drei wichtigsten Anwendungsbereichen wird im Folgenden detailliert betrachtet.

Wiederaufladbare Batterien: Im Bereich der wiederaufladbaren Batterien hat die Nachfrage nach Lithium in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Lag die Nachfrage im Jahr 2000 bei ca. 2.500 t LCE (3,9 % Anteil am Gesamtverbrauch), so stieg sie zum Jahr 2010 hin auf 28.900 t LCE (23,8 % Anteil). 2015 machte die Nachfrage aus diesem Bereich mit rund 66.200 t LCE etwa 37,4 % der Gesamtnachfrage aus. Im Vergleich zum Vorjahr stieg die Nachfrage um etwa knapp 15 %

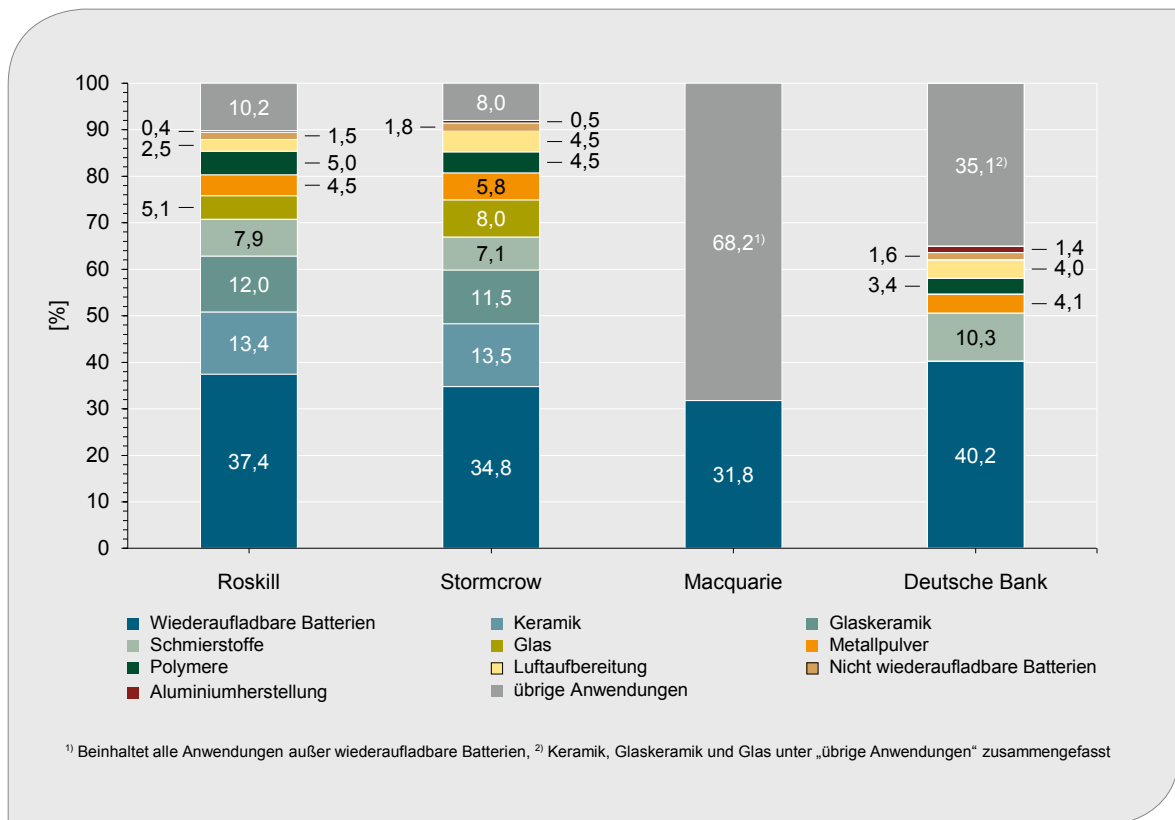


Abb. 34: Vergleich der globalen Gesamtnachfrage nach Anwendungsbereichen im Jahr 2015 (Datenquelle: ROSKILL 2016a, STORMCROW 2016, MACQUARIE 2016, DEUTSCHE BANK 2016).

(ROSKILL 2016a). Die globale Finanzmarktkrise 2008/2009 führte im Anwendungsbereich der wiederaufladbaren Batterien zu keinem Einbruch in der Gesamtnachfrage.

Der Bereich wiederaufladbare Batterien teilt sich nochmals in die Teilbereiche 3C, Power und Motive, ESS und E-Mobilität auf (Abb. 35). Davon entfallen ca. 65 % auf den Teilbereich der 3C-Anwendungen (Laptops, Smartphones, Tablets). Es folgen die Bereiche E-Mobilität (BEV, HEV, PHEV) mit 30,6 %, Power und Motive (3,6 %) und ESS (0,5 %).

STORMCROW (2016) gibt die Nachfrage in diesem Bereich mit etwa 68.705 t LCE (34,8 % Anteil) für das Jahr 2015 an. Nach MACQUARIE (2016) lag der Gesamtbedarf für wiederaufladbare Batterien im Jahr 2015 bei rund 55.250 t LCE (Anteil 31,8 %) und nach Angaben der DEUTSCHEN BANK (2016) bei etwa 74.000 t LCE (40,2 % Anteil). Nach USGS (2017) lag die Nachfrage nach wiederaufladbaren Batterien bei etwa 39 % der Gesamtnachfrage.

Häufig wird die Nachfrage nach Lithium aus dem Bereich der wiederaufladbaren Batterien in GWh angegeben. In Abb. 35 sind daher die Angaben zur Nachfrage aus diesem Sektor in GWh, basierend auf Daten von ROSKILL (2016a, 2016b), vergleichend dargestellt.

Keramik: Im Keramiksektor, dem aktuell zweitstärksten Anwendungsbereich, hat die Nachfrage nach Lithium in den letzten Jahren nur geringfügig zugenommen. Im Jahr 2000 lag diese bei etwa 13.500 t LCE (21 % Anteil am Gesamtverbrauch). Der Bereich Keramik stellte somit im Jahr 2000 das stärkste Nachfragesegment dar (ROSKILL 2016a). Die aktuelle Nachfrage aus dem Jahr 2015 liegt mit 23.800 t LCE zwar etwa 76 % über der Nachfrage aus dem Jahr 2000, gegenüber 2014 (23.200 t LCE) ist jedoch lediglich ein Plus von etwa 2,5 % zu verzeichnen. Der Anteil am Gesamtbedarf lag 2015 bei nur noch rund 13,4 %. Nach STORMCROW (2016) betrug die Nachfrage nach Lithium im Anwendungsbereich Keramik im Jahr 2015 etwa 26.600 t LCE (13,5 % Anteil).

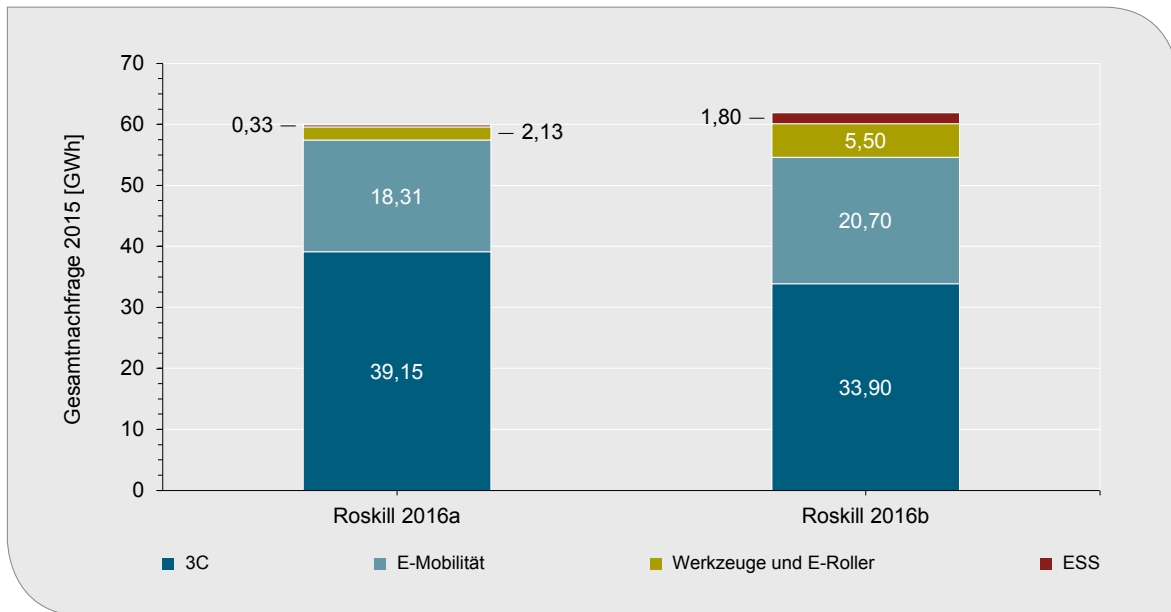


Abb. 35: Vergleich der Gesamtnachfrage nach Lithium im Jahr 2015 für den Anwendungsbereich der wiederaufladbaren Batterien in GWh (Datenquelle: ROSKILL 2016a, ROSKILL 2016b).

Glaskeramik: Der Bereich Glaskeramik hat nach Angaben von ROSKILL (2016a) einen zum Bereich Keramik vergleichbaren prozentualen Anteil am Gesamtverbrauch. Dieser lag 2015 bei rund 21.230 t LCE (12 %). Im Vergleich zum Vorjahr (20.700 t LCE) hat der Verbrauch um lediglich 2,7 % zugenommen. Gegenüber dem Jahr 2000 (8.940 t LCE) ist eine Zunahme von rund 137 % zu verzeichnen. Nach STORMCROW (2016) betrug die Lithiumnachfrage aus dem Bereich Glaskeramik 2015 etwa 22.800 t LCE (11,5 % Anteil).

Schmierstoffe: Der Anwendungsbereich der Schmierstoffe, in dem Lithium als Additiv genutzt wird, stellt den viertwichtigsten Absatzmarkt für Lithium dar. Im Jahr 2000 lag die Nachfrage bei rund 8.100 t LCE (12,7 % Anteil). Seit etwa 2010 ist die Nachfrage nur unerheblich gestiegen. Im Jahr 2015 lag diese bei rund 14.000 t LCE (7,9 % Anteil). Gegenüber dem Vorjahr (2014) ist nur eine geringe Zunahme um 0,7 % zu verzeichnen. STORMCROW (2016) gibt die Nachfrage für das Jahr 2015 mit rund 14.050 t LCE an. Die DEUTSCHE BANK (2016) geht von einem Verbrauch von rund 19.000 t LCE in diesem Anwendungsbereich im Jahr 2015 aus.

Übrige Anwendungen: Unter „übrige Anwendungen“ werden die folgenden Verwendungsgebiete zusammengefasst:

Glas	(ca. 9.000 t LCE;	Weltanteil: 5,1 %; +0 % zum Vorjahr)
Polymere	(ca. 8.900 t LCE;	Weltanteil: 5 %; +4 % zum Vorjahr)
Metallpulver	(ca. 8.000 t LCE;	Weltanteil: 4,5 %; –9,1 % zum Vorjahr)
Luftaufbereitung	(ca. 4.450 t LCE;	Weltanteil: 2,5 %; –7,2 % zum Vorjahr)
Nicht wiederaufladbare Batterien	(ca. 2.700 t LCE;	Weltanteil: 1,5 %; +1,5 % zum Vorjahr)
Aluminiumherstellung	(ca. 700 t LCE;	Weltanteil: 0,4 %; –30 % zum Vorjahr)
Übrige Anwendungen	(ca. 18.000 t LCE;	Weltanteil: 10,2 %; +5,9 % zum Vorjahr)

2.3.3 Derzeitige Marktdeckung

Die Betrachtung der aktuellen Marktdeckung basiert auf Nachfragedaten von ROSKILL (2013, 2016a) und gibt das Verhältnis von Angebot (Bergwerksförderung) und Nachfrage (Verbrauch) in Prozent wieder. Für Lithium liegen Daten ab dem Jahr 2005 vor.

Historisch betrachtet befindet sich der Markt für Lithium tendenziell in einem geringen Überschuss, um Verluste entlang der Wertschöpfungskette zu kompensieren. Das Angebot wird daher entsprechend der Nachfrage angepasst.

Der Verlauf der historischen Marktdeckung von Lithium (Abb. 36) zeigt, dass es zwischen 2005 und 2008 entsprechend Angebotsüberschüsse von bis zu 2.145 t Li-Inh. (2008) gab. Im Jahr 2009 lag die Nachfrage über der Förderung, welche aufgrund der globalen Finanzmarktkrise gedrosselt wurde. Die Nachfrage sank 2009 jedoch weit weniger als die Förderung, sodass diese, zumindest teilweise, aus Lagerbeständen bedient wurde. Das

berechnete Defizit lag 2009 entsprechend bei rund 2.050 t Li-Inh. (-11,1 %). Das tatsächliche Defizit lässt sich für 2009 somit nicht genau bestimmen.

Bereits im Folgejahr (2010) stieg die Förderung wieder stark an und lag über dem Niveau aus dem Jahr 2008. Der Zeitraum zwischen 2010 (Angebotsüberschuss 3.236 t Li-Inh.) und 2012 (Angebotsüberschuss rd. 5.660 t Li-Inh.) ist entsprechend von Überschüssen geprägt, da die Nachfrage nicht wie prognostiziert zugenommen hat. Die Überschüsse lagen zwischen 12,4 % (2010) und 17,9 % (2011). Im Jahr 2013 wurde die Förderung gedrosselt, um die Überproduktion der drei vorhergehenden Jahre zu kompensieren. Der Markt war in diesem Jahr mit ca. 3,4 % (1.040 t Li-Inh.) im Überschuss.

Das Jahr 2014 war ebenfalls von einem Überschuss geprägt. Dieser lag jedoch nur bei ca. 590 t Li-Inh. (1,8 %). Im Jahr 2015 näherten sich Angebot und Nachfrage weiter an und der Markt lag mit etwa 250 t Li-Inh. in einem leichten Defizit (-0,8 %). Vor allem in den Spotmarktpreisen

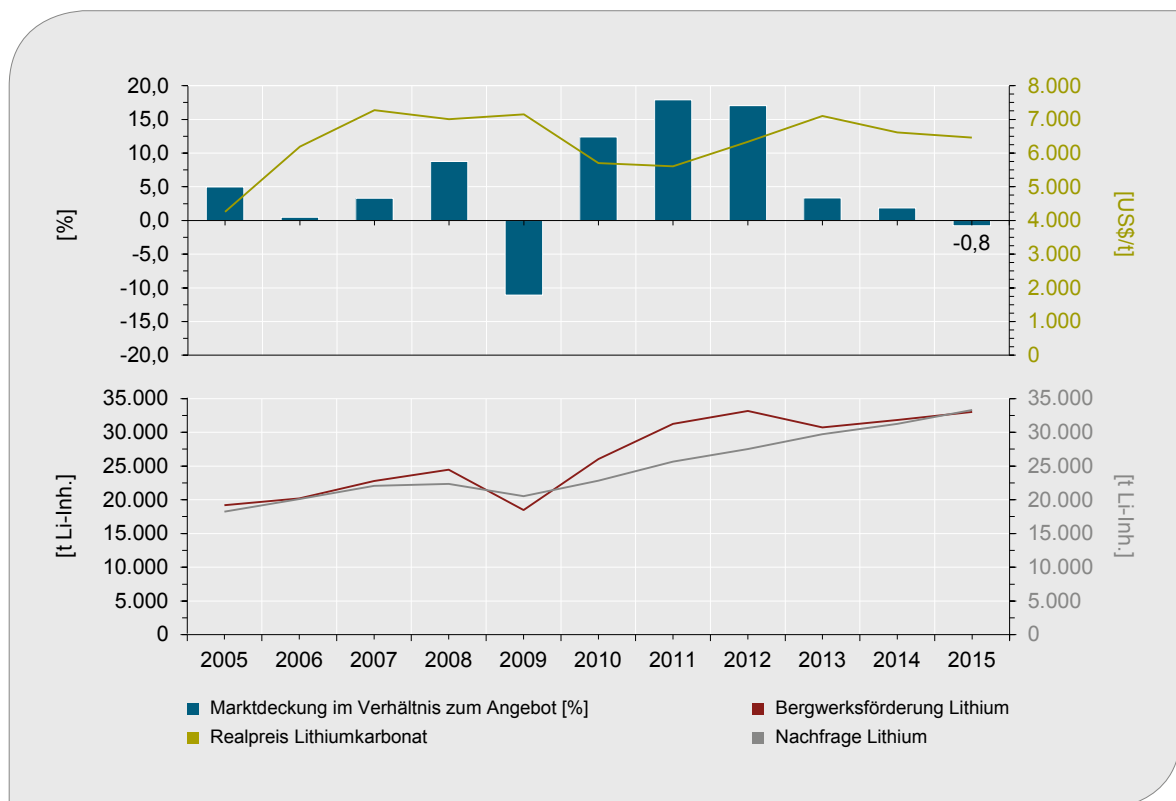


Abb. 36: Angebot und Nachfrage, Marktdeckung für Lithium: Entwicklung von Bergwerksförderung und Nachfrage ab 2005 (Datenquelle: BGR 2017, ROSKILL 2013, ROSKILL 2016a).

hat sich diese Situation durch steigende Preise bemerkbar gemacht.

Laut DEUTSCHE BANK (2016) lag das Defizit im Jahr 2015 abweichend bei rund 2.630 t Li-Inh. (–2,55 %). MACQUARIE (2016) beziffert das Defizit für das Jahr 2015 mit rund 2.590 t Li-Inh. (–8,6 %).

2.3.4 Handel

Daten zum globalen Handel von Lithium liegen für die in Tab. 16 aufgeführten Spezifikationen vor. Lithiumhydroxide und Lithiumoxide werden unter einer gemeinsamen HS-Warennummer zusammengefasst. Eine Einzelbetrachtung beider Produkte auf Länderbasis ist aufgrund fehlender länderspezifischer Warennummern nicht möglich.

Da Lithiumchlorid zusammen mit anderen Produkten in einer HS-Übergruppe (2827.30) geführt wird, kann der Handel nur über länderspezifische Warennummern (8-stellig) nachvollzogen werden.

Lithium-haltige Mineral-Konzentrate werden unter der Warengruppe 2530.90 zusammen mit Puzzolananerden, Farberden und anderen mineralischen Stoffen geführt. In diese Kategorie fallen auch Petalit-Konzentrate (z. B. aus Simbabwe). Eine vollständige Betrachtung des Handels auf Länderbasis ist daher nicht möglich. Für Australien, den mit Abstand wichtigsten Exporteur, lautet die auf dem HS-Code basierende länderspezifische Warennummer 2530.90.10 (Lithium Concentrates). Unter dieser Bezeichnung werden jedoch ab 1996 keinerlei Ausfuhren mehr gelistet. Lithi-

um-haltige Konzentrate werden seitdem vermutlich unter der landesspezifischen Warennummer 2530.90.93 geführt.

Darüber hinaus werden geringe Mengen an Lithiummetall und Lithium-haltigen Solen gehandelt. Hierfür stehen jedoch keine HS-Warennummern zur Verfügung, sodass der Handel dieser Produkte nicht nachvollzogen werden kann. Die hier angegebenen Daten beziehen sich auf die positiven Nettoexporte (NX > 0) der jeweiligen HS-Warengruppen, da der Fokus dieser Studie primär auf der Angebotsseite liegt (siehe Glossar im Anhang).

2.3.4.1 Nettoexporte

Waren der HS-Position 2836.91

Im Jahr 2015 wurden weltweit ca. 78.340 t Lithiumkarbonat exportiert. Die weltweiten Importe betragen ca. 80.260 t. Die Summe der Nettoexporte (NX > 0) lag bei etwa 63.380 t. Größter Nettoexporteur von Lithiumkarbonat war im Jahr 2015 Chile mit rund 49.610 t (Weltanteil 78,3 %) (Abb. 37) bei einer Bergwerksförderung des Landes von etwa 62.750 t LCE (Lithium-Karbonat-Equivalent). Bei den Exporten aus Chile ist ein gewisser prozentualer Anteil an Material aus Argentinien enthalten, welches über die Anden an die chilenische Küste (Antofagasta) transportiert wird und dann das Land verlässt.

Die genaue Menge lässt sich jedoch nicht quantitativ erfassen. Die wichtigsten aus Chile importierenden Länder waren 2015 die Republik Korea, Japan, China, Belgien, USA und Deutschland. Zweitgrößter Nettoexporteur von Lithiumkarbonat war Argentinien (ca. 13.730 t, 21,7 %). Die Bergwerksförderung des Landes lag 2015 bei etwa 18.720 t LCE (Lithium-Karbonat-Equivalent). Die wichtigsten aus Argentinien importierenden Länder waren China, Japan und die Republik Korea. Geringere Mengen (Summe < 500 t) wurden von Thailand, Belgien und der Türkei eingeführt. Deutschland importierte 2015 kein Material dieser Warengruppe aus Argentinien. Diese beiden Länder sind für beinahe 100 % des gesamten Nettohandels mit Lithiumkarbonat verantwortlich. Beide sind in der Förderung und Weiterverarbeitung zu Lithiumkarbonat aktiv. Die aus Slowenien exportierten 34 t (Anteil 0,05 %) können daher vernachlässigt werden.

Tab. 16: Warengruppen nach dem Harmonized System (HS) der Weltzollorganisation (WCO 2016) für Lithium und Lithiumprodukte (Datenquelle: GTIS 2017).

Handelsname	HS-Code
Lithiumkarbonat	2836.91
Lithiumoxid und Lithiumhydroxid	2825.20
Lithiumchlorid ¹	2827.30.xx ¹
Mineral-Konzentrate ²	2530.90.xx ²
Lithium-Ionen-Akkumulatoren	8507.60

¹ Erstellte Warengruppe basierend auf 8-stelligen Warencodes der Länder Chile, Argentinien, China,

² basiert auf der HS-Gruppe 2530.90.93

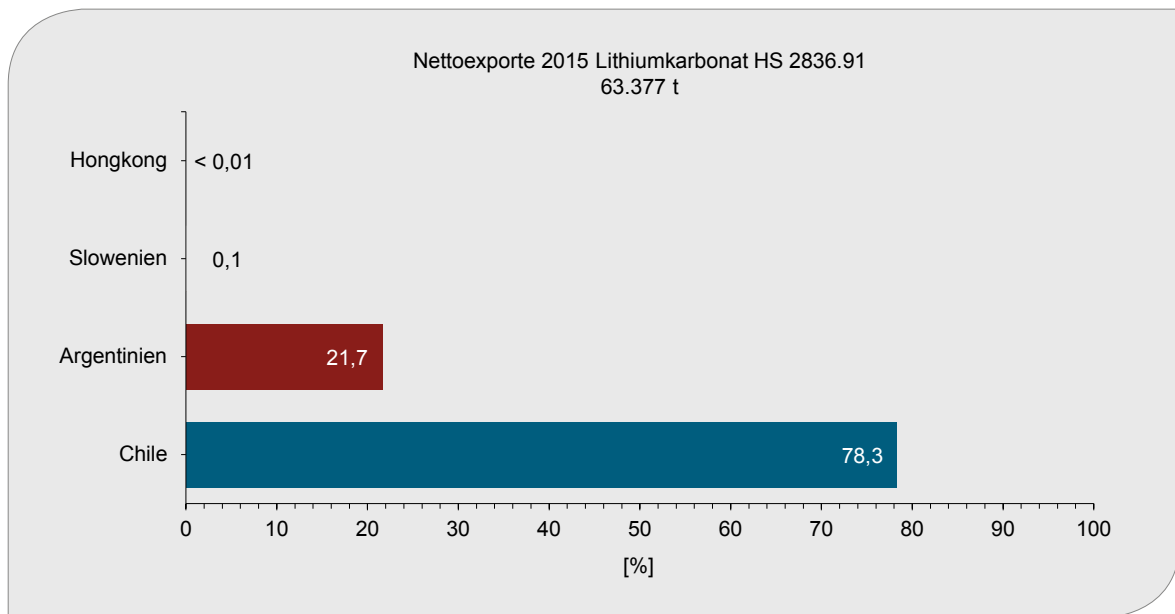


Abb. 37: Nettoexporte von Lithiumkarbonat 2015 (Datenquelle: GTIS 2017).

Nettoexport von Waren der HS-Position 2825.20

Im Jahr 2015 wurden weltweit ca. 28.930 t Lithiumoxid und Lithiumhydroxid exportiert. Die weltweiten Importe betragen ca. 28.770 t. Die Summe der Nettoexporte (NX > 0) lag bei ca. 23.420 t (Abb. 38). Der überwiegende Anteil in dieser Warengruppe entfällt mengenmäßig auf Lithiumhydroxid. Eine

genaue Trennung ist aufgrund der identischen Warennummer für beide Produkte nicht möglich.

Der größte Nettoexporteur war China mit rund 9.190 t (Weltanteil 39,2 %), gefolgt von den USA (ca. 8.590 t, 36,7 %), Chile (ca. 3.760 t, 16 %), der Russischen Föderation (ca. 1.780 t, 7,6 %) und den Niederlanden (80 t, 0,3 %). Kleinere Mengen stammen aus Norwegen und Brasilien.

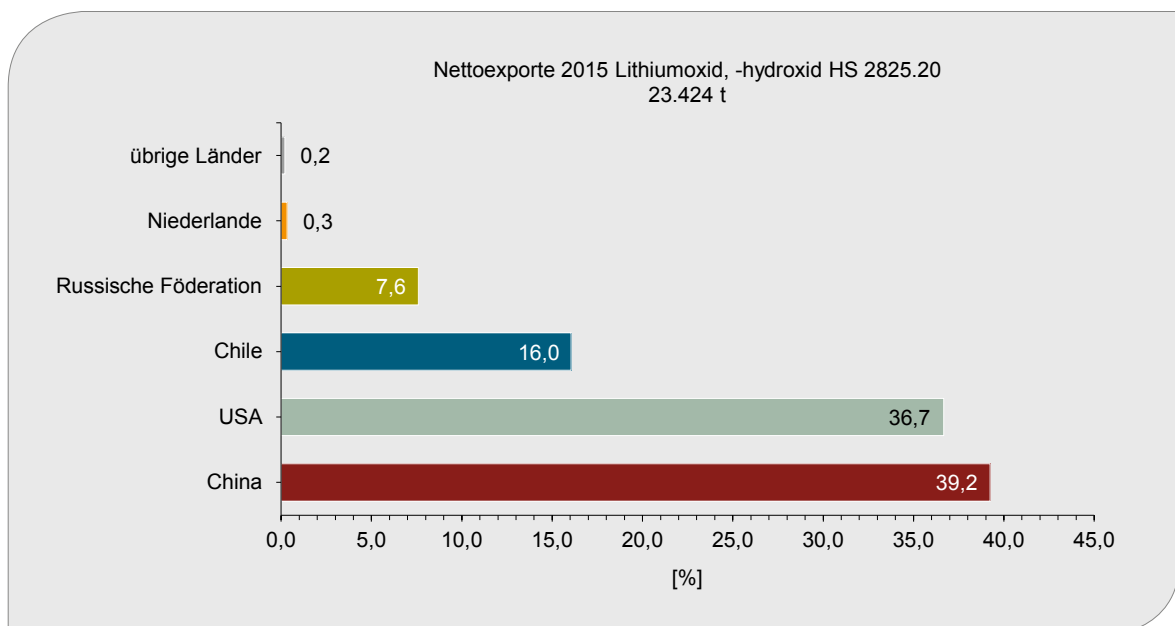


Abb. 38: Nettoexporte von Lithiumoxid und Lithiumhydroxid 2015 (Datenquelle: GTIS 2017).

Die Exporte Chinas wurden laut GTIS (2017) im Jahr 2015 vorrangig nach Japan, in die Republik Korea und nach Indien geliefert. Die USA exportierten hauptsächlich nach Japan. Die chilenischen Exporte gingen zum überwiegenden Teil in die USA, die Republik Korea und nach Belgien.

Nettoexport von Waren der HS-Position 2827.30.xx

Für Lithiumchlorid steht keine 6-stellige HS-Warengruppe zur Verfügung. Dieses Handelsprodukt ist Teil der Übergruppe 2827.30. Um den Handel nachvollziehen zu können, wurde auf Basis der spezifischen 8-stelligen Ländercodes der Länder Argentinien, Chile und China in der GTIS-Datenbank eine fiktive Warengruppe erzeugt. Diese drei Länder geben als Einzige eine spezifische 8-stellige Warennummer an.

Es besteht daher die Möglichkeit, dass aufgrund nicht erfasster Länder der Handel nicht vollständig erfasst werden kann. Nach ROSKILL (2016a) stellen Argentinien und Chile jedoch die mit Abstand wichtigsten Exporteure dar. Die ermittelten Exporte von Lithiumchlorid 2015 lagen bei etwa 8.730 t. Die genauen Importe lassen sich aufgrund der fehlenden HS-Codes nicht ermitteln. Allein China importierte 2015 aber ca. 3.930 t und dürfte somit größter Importeur 2015 gewesen sein. Die Summe

der ermittelten Nettoexporte (NX > 0) lag demnach bei ca. 8.190 t (Abb. 39).

Größter Nettoexporteur war Argentinien mit etwa 5.860 t (Weltanteil 71,5 %). Die Exporte gingen vorrangig in die USA (52,6 %) und nach China (46,9 %). Geringe Mengen (< 150 t) wurden 2015 nach Japan ausgeführt. Zweitgrößter Nettoexporteur war entsprechend Chile mit ca. 2.330 t (Anteil 28,5 %). Ein Großteil der Exporte ging nach Deutschland (ca. 67,4 %). Bei diesen Exporten handelt es sich vermutlich um Durchgangshandel (Hamburg) in andere Märkte. Weitere Exportziele waren die USA (16,3 %) und China (14,7 %). China selbst ist kein Nettoexporteur, sondern Nettoimporteur dieser Warengruppe.

Nettoexport von Waren der HS-Position 2530.90.xx

Für Lithium-haltige Mineral-Konzentrate, wie sie momentan hauptsächlich in Australien produziert werden, steht analog zu Lithiumchlorid keine eigenständige 6-stellige HS-Warengruppe zur Verfügung. Dieses Handelsprodukt ist Teil der Übergruppe 2530.90. Um den Handel nachvollziehen zu können, wurde der spezifische 8-stellige Ländercode Australiens herangezogen (HS 2530.90.93). Da Australien selbst keine Spodumen-Konzentrate

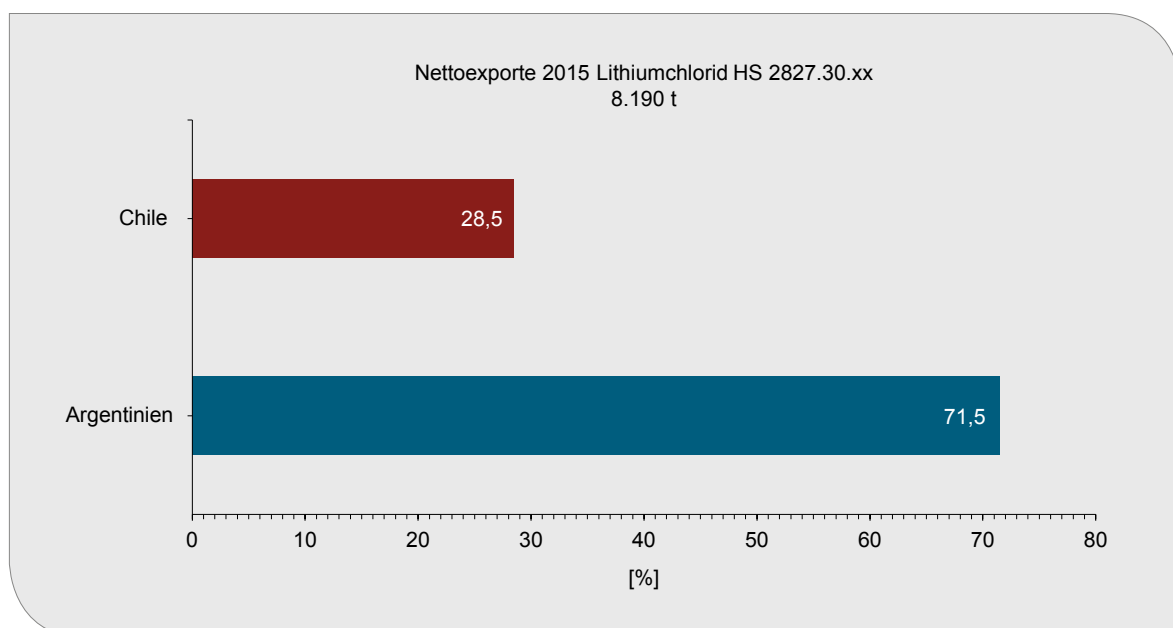


Abb. 39: Nettoexporte von Lithiumchlorid 2015 (Datenquelle: GTIS 2017).

importiert, entsprechen die Exporte des Landes auch den Nettoexporten.

Neben Australien weist nur Brasilien einen speziellen Warencode (HS 2530.90.93) für Lithium-haltige Mineral-Konzentrate aus. Das Land exportierte 2015 jedoch kein Material (GTIS 2017). Da Simbabwe als Produzent von Lithium-haltigen Mineral-Konzentraten (Petalit) keine Exporte angibt, wurden die Ausfuhren des Landes aus globalen Importen abgeleitet. Da das Land keine Konzentrate importiert, entsprechen die so ermittelten

Exporte den Nettoexporten. Südafrika exportiert, ermittelt aus globalen Importen, größere Mengen an Konzentraten. Hierbei handelt es sich jedoch vollständig um Material aus Simbabwe (ROSKILL 2016a). Da die Importe die Exporte übersteigen, ist Südafrika kein Nettoexporteur.

Die Nettoexporte Australiens lagen 2015 bei rund 472.410 t (Anteil 90,8 %) (Abb. 39). Dies entspricht in etwa 13.150 t Li-Inh. (ca. 70.000 t LCE) bei einer Bergwerksförderung von rund 13.160 t Li-Inh. Für das Jahr 2016 ergeben sich Nettoexporte von etwa

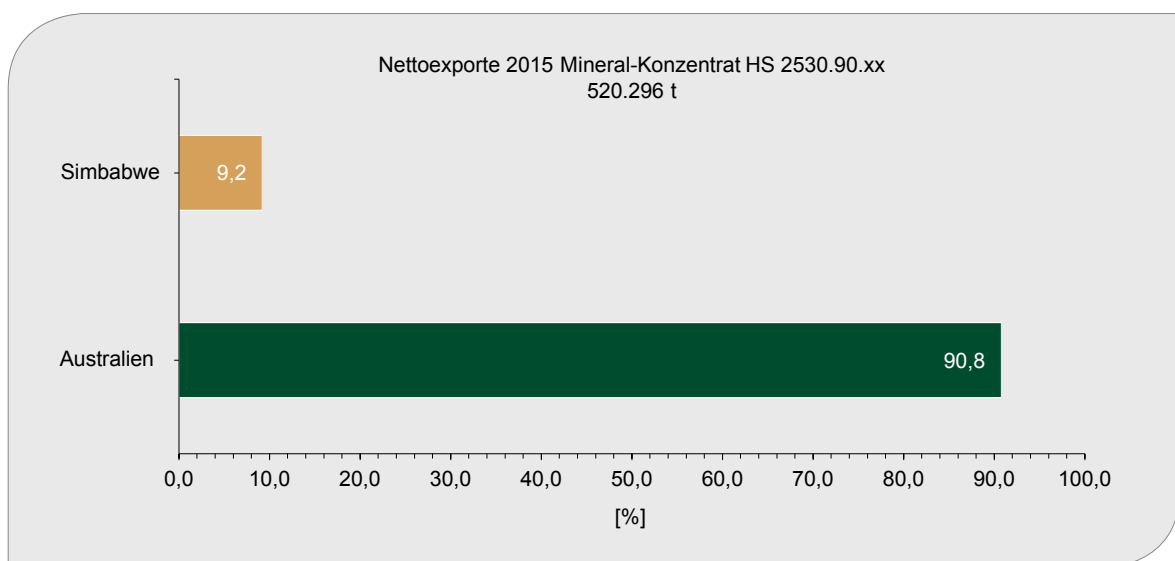


Abb. 40: Nettoexporte von Lithium-haltigen Mineral-Konzentraten 2015 (Datenquelle: GTIS 2017).

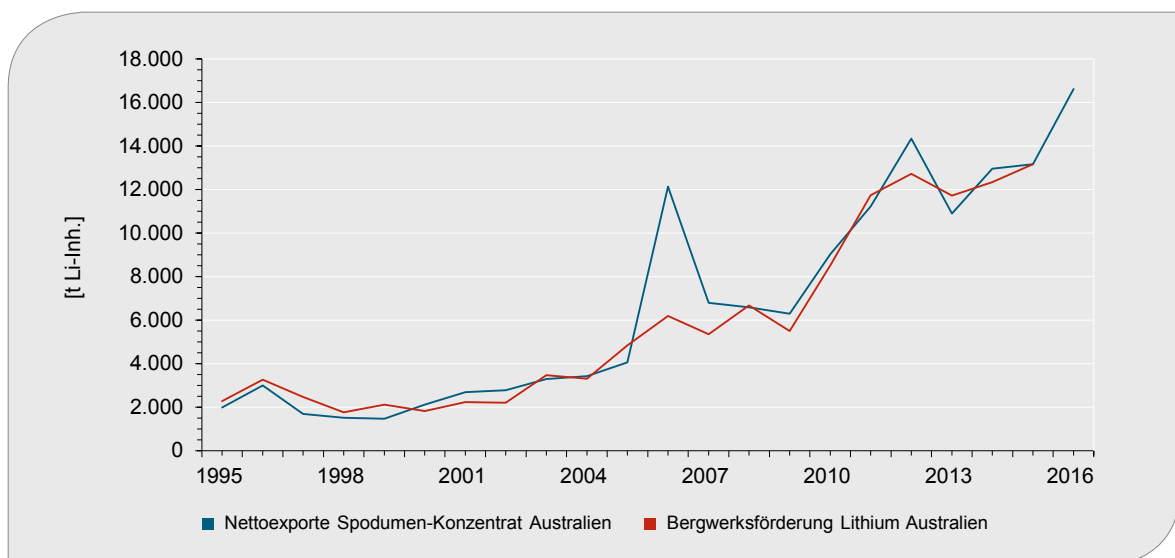


Abb. 41: Nettoexporte von Spodumen-Konzentraten Australiens im Vergleich zur Bergwerksförderung Australiens 1995–2015 (Datenquelle: BGR 2017, GTIS 2017).

596.540 t (ca. 16.600 t Li-Inh. bzw. 88.400 t LCE) (GTIS 2017). Die ermittelten Nettoexporte Simbabwe betragen 2015 ca. 47.880 t Konzentrat (Anteil 9,2 %). Dies entspricht in etwa 1.300 t Li-Inh. bei einer Bergwerksproduktion von ca. 1.025 t Li-Inh. In Summe ergeben sich Nettoexporte von rund 520.300 t für das Jahr 2015 (Abb. 40).

Die globalen Importe können aufgrund der fehlenden HS-Codes nicht vollständig erfasst werden. Größter Importeur ist aber aufgrund der angesiedelten Weiterverarbeitungsindustrie China. Weitere Importeure sind Japan, die Republik Korea sowie einige europäische Länder wie bspw. Deutschland.

Nettoexport von Waren der HS-Position 8507.60

Da LIB den wichtigsten Anwendungsbereich darstellen und sich die Produktion dieser Zellen aktuell auf den asiatischen Wirtschaftsraum konzentriert, ist es notwendig, auch den Nettohandel dieser Produkte zu betrachten. Im Jahr 2015 lagen die Exporte von LIB bei etwa 4,97 Mrd. Einheiten. Die weltweiten Importe betragen 3,48 Mrd. Einheiten. Die Summe der berechneten Nettoexporte ($N_x > 0$) lag bei etwa 2,45 Mrd. Einheiten. Die Daten zu den Nettoexporten des Jahres 2016 zeigen eine Zunahme gegenüber 2015 von rund 8 % auf 2,66 Mrd. Einheiten. Diese Angabe ist jedoch

vorläufig, da noch nicht alle Länder ihre Handelsdaten gemeldet haben.

Größter Nettoexporteur von LIB war im Jahr 2015 die Republik Korea mit rund 1,33 Mrd. Einheiten (Weltanteil 54,2 %) (Abb. 42). Das Land war 2015 größter Importeur von Lithiumkarbonat und zweitgrößter Importeur von Lithiumhydroxid. Beides sind wichtige Ausgangsprodukte für die Herstellung von Batteriekathoden und Elektrolytmaterialien. In der Republik Korea sind entsprechend auch große Unternehmen wie z. B. LG Chem und Samsung SDI angesiedelt.

Zweitgrößter Nettoexporteur von LIB war Japan mit rund 0,91 Mrd. Einheiten (Weltanteil 37,2 %). Analog zu der Republik Korea ist Japan ein wichtiger Produktionsstandort für Batteriezellen (Panasonic). Das Land war daher im Jahr 2015 drittgrößter Importeur von Lithiumkarbonat und größter Importeur von Lithiumhydroxid. Eine Förderung von Lithium gibt es weder in der Republik Korea noch in Japan. Beide Länder sind vollständig auf Importe angewiesen.

Weitere Nettoexporte kamen 2015 aus Singapur (0,18 Mrd. Einheiten, Weltanteil 4,8 %) und Thailand (95 Mio. Einheit, Weltanteil 3,9 %). Beide Länder verfügen über keine eigene Produktion, sodass hier von einem Durchgangshandel ausgegangen werden kann.

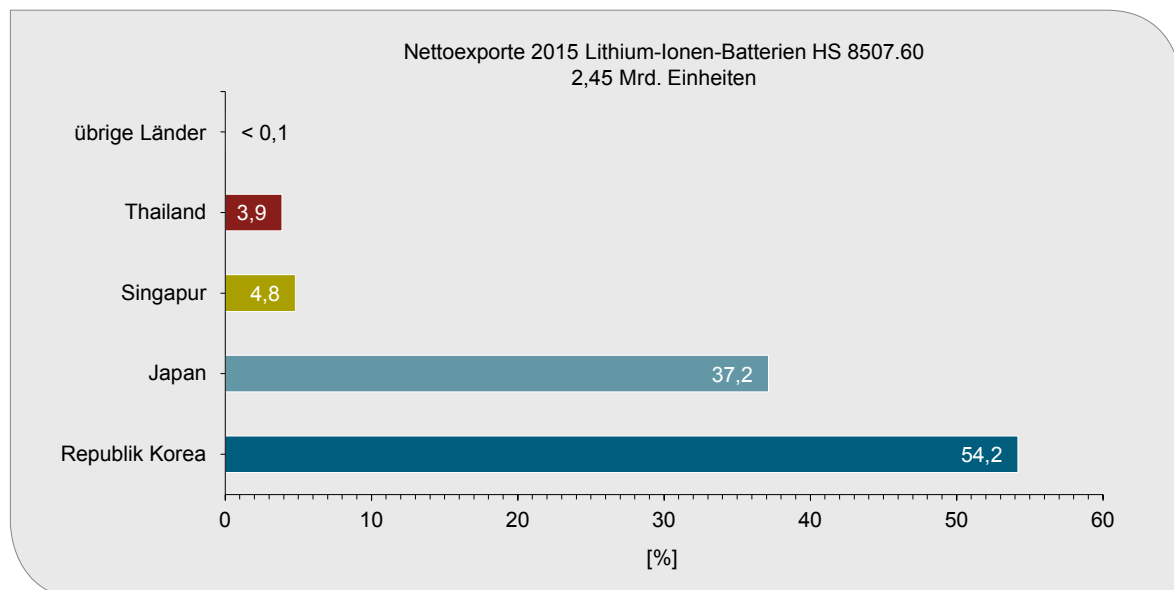


Abb. 42: Nettoexporte von Lithium-Ionen-Batteriezellen 2015 (Datenquelle: GTIS 2017).

Tab. 17: Geopolitisches Risiko (Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko) der Weltbergwerksförderung von Lithium 2005 und 2015 im Vergleich.

Land	2005				2015				
	Li [t Inh.]	Anteil [%]	HHI ¹	GLR ²	Li [t Inh.]	Anteil [%]	HHI ¹	Länder-risiko WB ³	GLR ²
Australien	4.835	24,1			13.160	39,9		1,58	
Chile	8.308	41,5			11.788	35,7		1,07	
Argentinien	2.742	13,7			3.516	10,7		-0,36	
China	717	3,6			2.002	6,1		-0,43	
Simbabwe	731	3,6			1.025	3,1		-1,20	
USA	1.500	7,5			846	2,6		1,25	
Portugal	304	1,5			470	1,4		1,04	
Brasilien	207	1,0			186	0,6		-0,17	
übrige Länder ⁴	694	3,5			19	0,1		-	
Summe⁵	20.038	100	2.586	0,803	33.011	100	3.033		0,95

¹ Herfindahl-Hirschman-Index, ² gewichtetes Länderrisiko. ³ WB = Weltbank (WORLD BANK 2016),

⁴ enthält: Spanien und Kanada, ⁵ geringe Abweichung durch Rundung möglich

China taucht als Nettoexporteur dieser Warengruppe nicht auf, obgleich das Land eine zentrale Rolle in der Zellfertigung einnimmt. Ursache hierfür ist, dass die Importe mit ca. 1,7 Mrd. Einheiten über den Exporten von ca. 1,5 Mrd. Einheiten liegen. China produziert selbst große Mengen an LIB und importiert zusätzlich große Mengen. Diese Zellen werden im Land zu Produkten der höheren Wertschöpfung weiterverarbeitet und global exportiert bzw. lokal verkauft, so z. B. Batteriesysteme, klassische 3C-Anwendungen (Laptops, Tablets, Smartphones), E-Fahrzeuge, ESS-Anwendungen u. a. Basierend auf reinen Exporten ist China mit ca. 1,5 Mrd. Einheiten das wichtigste Lieferland.

2.4 Geopolitische Risiken und Marktmacht

2.4.1 Bergwerksförderung

Länderkonzentration Bergwerksförderung Lithium

Seit Anfang der 1980er Jahre haben Chile und Australien kontinuierlich ihre Förderung von Lithium erhöht und sich so zu den aktuell weltgrößten Bergbauländern für Lithium entwickelt. Gleichzeitig nahm die bis dahin beherrschende Rolle der USA im gleichen Zeitraum markant ab.

Im Jahr 2015 lag der Anteil Australiens an der Weltbergwerksförderung bei knapp 40 %, gefolgt von Chile (35,7 %), Argentinien (10,7 %), China (6,1 %) und Simbabwe (3,1 %). Die USA hatten 2015 nur noch einen Anteil von 2,6 % an der Weltbergwerksförderung. Geringe Mengen wurden in Portugal und Brasilien gefördert (Tab. 17, Abb. 43).

Gegenüber 2005 haben vor allem Australien und auch China prozentual gesehen Anteile an der Weltbergwerksförderung gewonnen. Im Jahr 2015 verteilten sich auf die drei größten Bergbauländer rund 86,7 % der Weltbergwerksförderung; im Jahr 2005 waren es knapp 79,3 % (Tab. 17).

Mit einem Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)¹ von knapp über 3.000 liegt die Länderkonzentration der Weltbergwerksförderung von Lithium in einem bedenklichen Bereich. Historisch betrachtet hat der HHI der Weltbergwerksförderung zwischen 1960 und 2015 von knapp 8.000 auf 3.033 abgenommen.

Hauptgrund hierfür ist die Abnahme der Förderung in den USA und auch in Simbabwe bei gleichzeitiger Zunahme der Förderung in Australien, Chile,

¹ Für die Ermittlung des Konzentrationsgrads wird der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) berechnet (s. Anhang). HHI-Werte zwischen 1.500 und 2.500 werden als mäßig risikoreich bewertet, Werte > 2.500 gelten als bedenklich. Diese Einteilung gilt auch für die Firmenkonzentration (U. S. DEPARTMENT OF JUSTICE 2010).

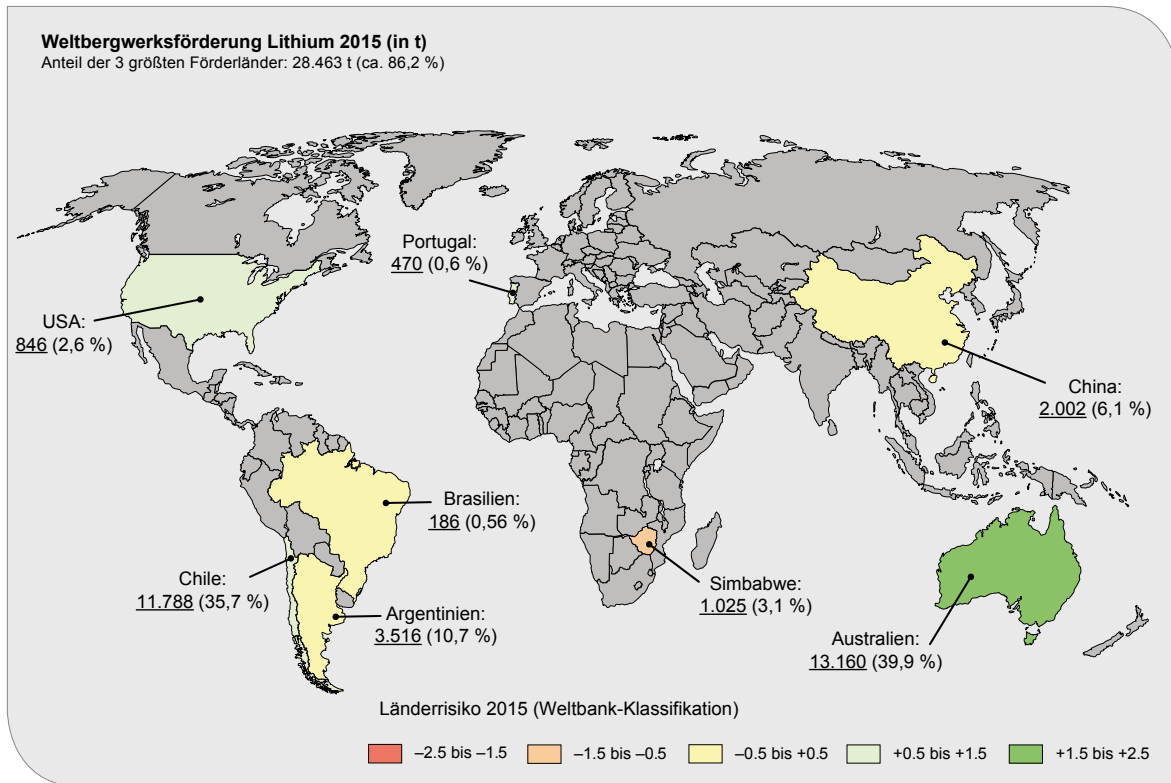


Abb. 43: Länder mit Förderung von Lithium im Jahr 2015 und deren aggregierter World Governance Indicator (Länderrisiko) (Datenquelle: BGR 2017, ROSKILL 2016a, WORLD BANK 2016).

Argentinien und China. Ein Maximum des HHI tritt im Jahr 1964 auf, als Simbabwe das beherrschende Bergbauland für Lithium war (Abb. 44). Seit dem Ende der 1980er Jahre liegt der HHI in einem Bereich von ca. 2.000 bis 3.000. Tendenziell ist ein leichter Anstieg des HHI seit 2006 zu beobachten. Ursache hierfür ist die steigende Förderung in den beiden Ländern Australien und Chile.

Gewichtetes Länderrisiko Bergwerksförderung Lithium

Das auf den „Worldwide Governance Indicators“ der Weltbank (WORLD BANK 2016) und der Bergwerksförderung basierende gewichtete Länderrisiko (GLR, s. Glossar) der Weltbergwerksförderung von Lithium lag 2015 mit einem Wert von 0,95 im unkritischen Bereich.²

² Bezogen auf die Weltbank-Skala für das Länderrisiko (von -2,5 bis 2,5) sind Länder mit einem Länderrisiko zwischen 0,5 und -0,5 als mäßig risikoreich zu bewerten. Werte < -0,5 sind zunächst als bedenklich einzustufen. Diese Bewertungsskala gilt auch für das gewichtete Länderrisiko (GLR).

Australien gilt mit einer Risikobewertung von 1,58 als sehr risikoarmes Land und hat damit aufgrund seines hohen prozentualen Anteils an der Förderung (39,9 %) einen großen Einfluss auf das GLR. Gleiches gilt für Chile (Anteil 35,7 %), welches mit einem Wert von 1,07 ebenfalls als risikoarm eingestuft wird. Diese beiden Länder bestimmen das GLR maßgeblich.

Argentinien und China als dritt- und viertgrößtes Förderland gelten mit einem Wert von -0,36 bzw. -0,43 als mäßig risikoreiche Länder. Simbabwe, mit einem Anteil von 3,1 % an der Förderung, gilt mit einem Wert von -1,2 als sehr risikoreiches Land. Gegenüber dem Jahr 2005 (GLR = 0,90) hat sich das gewichtete Länderrisiko der Lithiumförderung nur geringfügig verbessert (Tab. 17, Abb. 44).

Gesamtbewertung Bergwerksförderung

Die Länderkonzentration der Weltbergwerksförderung von Lithium liegt im bedenklichen Bereich. Das gewichtete Länderrisiko liegt im unbedenkli-

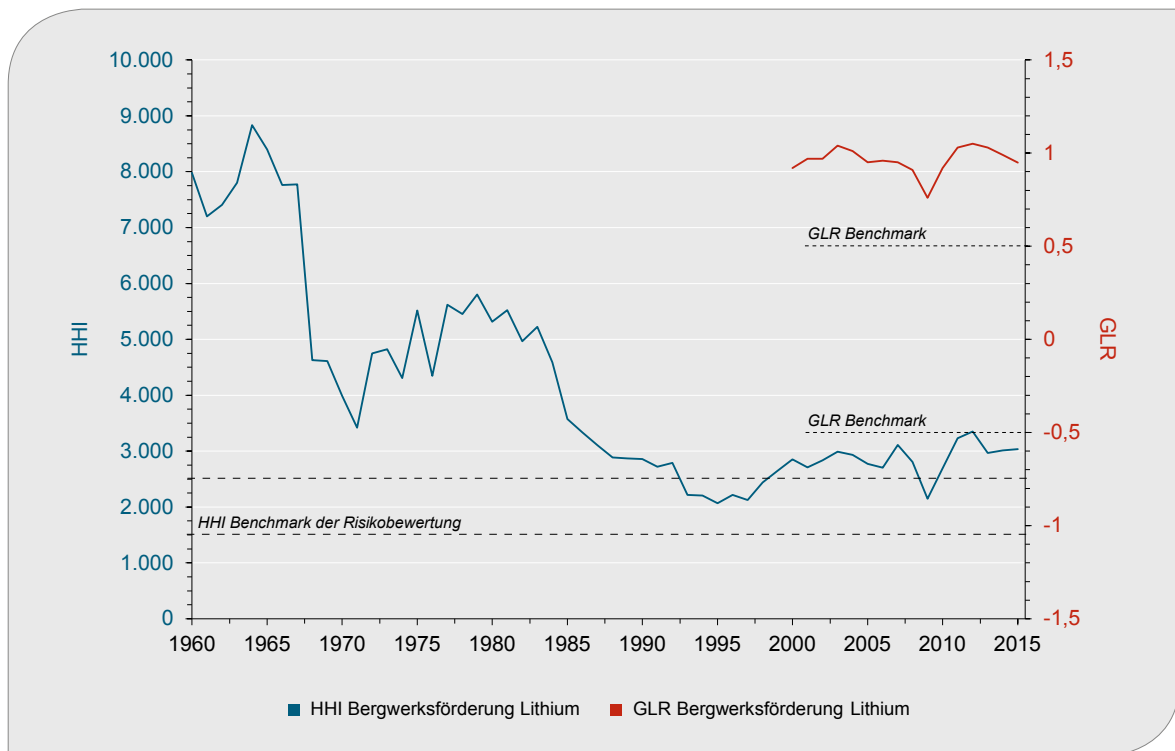


Abb. 44: Entwicklung der Länderkonzentration und des gewichteten Länderrisikos der Bergwerksförderung für Lithium (1960–2015).

chen Bereich. Das geopolitische Risiko der Weltbergwerksförderung wird insgesamt dennoch als unbedenklich bewertet.

Australien ist größtes Förderland und gilt als sicheres Lieferland. Auch Chile hat sich in den letzten Jahrzehnten als sicheres Lieferland dargestellt. Diese beiden Länder stellten 2015 knapp 76 % der globalen Lithiumförderung. Die politischen Entwicklungen in Simbabwe, Umstrukturierungen in der chilenischen Lithiumindustrie sowie die Potenziale in Bolivien zum Aufbau einer lokalen Lithiumindustrie gilt es zu beobachten.

2.4.2 Weiterverarbeitung

Länderkonzentration Weiterverarbeitung Lithium

Im Jahr 2015 lag der Anteil Chiles an der Weiterverarbeitung bzw. der Produktion von Lithiumchemikalien (Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid) bei etwa 44 %, gefolgt von China (39,1 %) und Argentinien (13,2 %). Die USA an vierter Stelle hatten 2015 nur einen Anteil von 3,2 %. Geringe Mengen wurden in

Brasilien und Portugal produziert. Abweichend zur Weltbergwerksförderung von Lithium spielt China in der Weiterverarbeitung eine sehr wichtige Rolle.

Mit einem Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)³ von 3.658 liegt die Länderkonzentration der Weiterverarbeitung von Lithium analog zur Weltbergwerksförderung in einem bedenklichen Bereich. Hauptgrund hierfür ist, dass die Weiterverarbeitung hauptsächlich in zwei Ländern (Chile, China) stattfindet (Anteil 83,2 %).

Gewichtetes Länderrisiko Weiterverarbeitung Lithium

Das auf den „Worldwide Governance Indicators“ der Weltbank (WORLD BANK 2016) und der Bergwerksförderung basierende gewichtete Länderrisiko (GLR, s. Glossar) der Weiterverarbeitung

³ Für die Ermittlung des Konzentrationsgrads wird der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) berechnet (s. Anhang). HHI-Werte zwischen 1.500 und 2.500 werden als mäßig risikoreich bewertet, Werte > 2.500 gelten als bedenklich. Diese Einteilung gilt auch für die Firmenkonzentration (U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE 2010).

Tab. 18: Geopolitisches Risiko (Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko) der Produktion von Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid 2015 im Vergleich (Datenquelle: BGR 2017, ROSKILL 2016a, WORLD BANK 2016).

Land	2015				
	Li [t Inh.]	Anteil [%]	HHI ¹	Länderrisiko WB ³	GLR ²
Chile	11.788	44,1		1,07	
China	10.434	39,1		-0,43	
Argentinien	3.516	13,2		-0,36	
USA	846	3,2		1,25	
Brasilien	113	0,4		-0,17	
übrige Länder ⁴	19	0,07		-	
Summe⁵	26.715	100	3.658		0,29

¹ Herfindahl-Hirschman-Index, ² gewichtetes Länderrisiko, ³ WB = Weltbank (World Bank 2016), ⁴ inklusive Recycling, ⁵ geringe Abweichung durch Rundung möglich

von Lithium lag 2015 mit einem Wert von 0,29 im mäßig kritischen Bereich.⁴

Chile gilt mit einer Risikobewertung von 1,07 als relativ risikoarmes Land und hat damit aufgrund seines hohen prozentualen Anteils an der Produktion (44,1 %) einen großen Einfluss auf das GLR. Aufgrund einer negativen Länderrisikobewertung von -0,43 (mäßig risikoreich) wirkt sich China mit einem Anteil von rund 39,1 % an der Produktion negativ auf das GLR aus. Argentinien als drittgrößter Produzent gilt mit einem Wert von -0,36 als mäßig risikoreiches Land.

Gesamtbewertung Weiterverarbeitung

Die Länderkonzentration der Weiterverarbeitung von Lithium liegt analog zur Bergwerksförderung im bedenklichen Bereich. Das gewichtete Länderrisiko liegt im mäßig bedenklichen Bereich. Damit ist das geopolitische Risiko der Weiterverarbeitung insgesamt als mäßig bedenklich zu bewerten.

Australien ist bisher kein Produzent der genannten Verbindungen, da der Fokus bisher auf der Produktion von Spodumen-Konzentraten liegt, die zur Weiterverarbeitung exportiert werden. Jedoch plant das Unternehmen Tianqi Lithium eine Anlage

zur Produktion von Lithiumhydroxid in Kwinana (Western Australia), welche Spodumen-Konzentrate aus Greenbushes verarbeiten soll. Darüber hinaus plant das amerikanische Unternehmen Albemarle eine weitere Anlage zur Produktion von Lithiumchemikalien. Der Standort dieser Anlage ist noch nicht festgelegt, könnte aber in Australien sein.

Im Zusammenhang mit Chile gilt es, mögliche regulatorische Maßnahmen der Regierung bzw. Förderprogramme (Invest Chile, Kap. 2.5.2) zu beobachten. Dies könnte sich auf die Produktion im Land auswirken.

Sollte Orocobre (Argentinien) seine geplante Kapazität von 17.500 t LCE (ca. 3.300 t Li-Inh.) erreichen, könnte der Länderanteil Argentiniens deutlich zunehmen. Sollten darüber hinaus geplante Projekte in Argentinien (inkl. Erweiterungen) und Kanada planmäßig umgesetzt werden und die Produktion aufnehmen, könnte dies ebenfalls zu einer Veränderung der Länderkonzentration und des GLR führen.

2.4.3 Globaler Handel

Lithiumkarbonat (HS-Position 2836.91)

Die Summe der weltweiten Nettoexporte von Lithiumkarbonat betrug 2015 ca. 63.380 t (GTIS 2017). Die beiden größten Exportländer waren Chile (78,3 %) und Argentinien (21,7 %). Insgesamt

⁴ Bezogen auf die Weltbank-Skala für das Länderrisiko (von -2,5 bis 2,5) sind Länder mit einem Länderrisiko zwischen 0,5 und -0,5 als mäßig risikoreich zu bewerten. Werte < -0,5 sind zunächst als bedenklich einzustufen. Diese Bewertungsskala gilt auch für das gewichtete Länderrisiko (GLR).

samt treten nur vier Länder als Nettoexporteure in Erscheinung, wobei der Anteil der beiden größten Exportländer bereits 99,95 % abdeckt. Slowenien und Hongkong als Umschlagplätze spielen daher eine untergeordnete Rolle.

Die mithilfe des Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) berechnete Länderkonzentration der Nettoexporte dieser Warengruppe lag im Jahr 2015 mit einem Wert von 6.597 entsprechend im bedenklichen Bereich. Gegenüber 2005 (7.491) haben der HHI und damit die Länderkonzentration leicht abgenommen. Das GLR ist mit einem Wert von 0,83 als unbedenklich zu bewerten. Von den beiden im Jahr 2015 einzigen Nettoexporteuren wurde Chile (Länderrisiko 1,07) als risikoarmes Land eingestuft. Argentinien als zweitgrößter Nettoexporteur (Länderrisiko -0,36) wird als mäßig risikoreich bewertet.

Lithiumhydroxid und Lithiumoxid (HS-Position 2825.20)

In dieser Warengruppe werden Lithiumhydroxid und Lithiumoxid zusammen geführt, wobei sich der Handel zum überwiegenden Teil auf Lithiumhyd-

roxide beschränkt. Im Jahr 2015 wurden weltweit etwa 23.420 t Lithiumhydroxid und Lithiumoxid netto exportiert (GTIS 2017). Die drei größten Nettoexporteure waren China (39,2 %), USA (36,7 %) und Chile (16 %). Der Anteil der drei größten Nettoexporteure betrug 2015 entsprechend knapp 92 %. Der Konzentrationsgrad der Exporte liegt mit einem HHI von 3.200 im bedenklichen Bereich. Gegenüber 2005 (HHI 4.357) hat die Länderkonzentration jedoch abgenommen.

Das gewichtete Länderrisiko ist mit einem Wert von 0,53 als unbedenklich, mit Tendenz in den mäßig bedenklichen Bereich zu bewerten. Maßgeblich hierfür sind die Exportmengen Chinas in Verbindung mit der Länderrisikobewertung von -0,43. Die Länderrisikobewertung der USA (1,25) wirkt sich positiv auf das GLR aus.

Lithiumchlorid (HS-Position 2827.39.xx)

Die Summe der ermittelten weltweiten Nettoexporte von Lithiumchlorid betrug 2015 ca. 8.190 t (GTIS 2017). Die beiden einzigen Nettoexportländer waren Argentinien (71,5 %) und Chile (28,5 %).

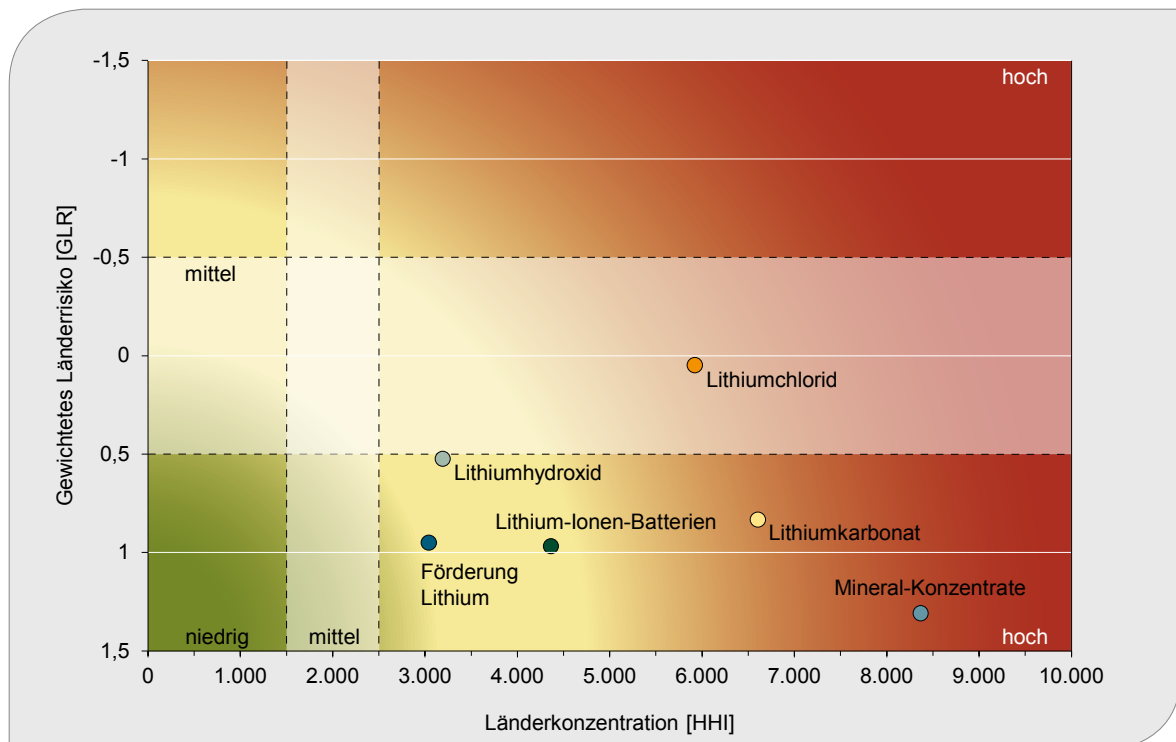


Abb. 45: Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko der globalen positiven Nettoexporte im Vergleich zur Bergwerksförderung von Lithium.

Basierend auf den ermittelten Handelsdaten liegt der Konzentrationsgrad der Exporte mit einem HHI von 5.927 deutlich im bedenklichen Bereich. Gegenüber 2005 (HHI 8.435) hat die Länderkonzentration aber deutlich abgenommen. Grund hierfür sind die gestiegenen Exporte Chiles, da Rockwood Lithium (Albemarle) die Produktion von Lithiumchlorid nach langjähriger Pause in La Negra wieder aufgenommen hat (ROSKILL 2016a). Das gewichtete Länderrisiko ist mit einem Wert von 0,05 als mäßig bedenklich zu bewerten. Maßgeblich hierfür sind die Exportmengen Argentiniens in Verbindung mit der entsprechenden Länderrisikobewertung von -0,36. Die Länderrisikobewertung Chiles (1,07) wirkt sich hingegen positiv auf das GLR aus.

Mineral-Konzentrate (HS-Position 2530.90.xx)

Eine quantitative Bewertung der Nettoexporte von Lithium-haltigen Mineral-Konzentraten ist aufgrund der Datenbasis nur unzureichend möglich, da diese Konzentrate in der Warengruppe 2530.90 zusammen mit anderen Produkten geführt werden. Jedoch listet kein Land, bis auf Australien und Brasilien, einen spezifischen Warencode basierend auf dem HS für diese Produkte.

Die ermittelten Nettoexporte Australiens liegen bei 472.410 t Konzentrat (ca. 13.150 t Li-Inh.). Geringe Mengen wurden für Simbabwe (47.880 t) gemeldet.

Der Anteil Australiens liegt entsprechend bei über 90 %. Qualitativ ist der Nettoexport als sehr hoch konzentriert anzusehen. Legt man die ermittelten Exportdaten zugrunde, ergibt sich ein HHI von etwa 8.330. Das gewichtete Länderrisiko ist mit einem Wert von 1,31 aufgrund der positiven Länderbewertung Australiens als unbedenklich zu bewerten.

Lithium-Ionen-Batterien (HS-Position 8507.60)

Im Jahr 2015 lagen die ermittelten Nettoexporte von LIB bei etwa 2,45 Mrd. Einheiten (GTIS 2017). Die beiden größten Nettoexporteure waren die Republik Korea (54,2 %) und Japan (37,2 %). Der Anteil dieser beiden Nettoexporteure betrug 2015 demnach 91,3 %. Der Konzentrationsgrad der Exporte liegt mit einem HHI von 4.353 entsprechend im bedenklichen Bereich. Gegenüber 2012 (HHI 5.614) hat die Länderkonzentration jedoch leicht abgenommen. Für den Zeitraum vor 2012 liegen keine Daten dieser Warengruppe vor. Das gewichtete Länderrisiko ist mit einem Wert von 0,96 aufgrund der positiven Länderrisikobewertungen der Republik Korea und Japans als unbedenklich zu bewerten.

2.4.3.1 Importe Deutschlands

Die folgenden aufgeführten Angaben zu deutschen Importen basieren auf Daten des Statistischen Bundesamtes und wurden dem Global Trade Atlas entnommen. In Tab. 19 sind die Importmengen

Tab. 19: Importe Deutschlands von Lithiumverbindungen in Tonnen für das Jahr 2015 (Datenquelle: GTIS 2017, DESTATIS 2017).

HS-Warennummer ¹	Importe Global [t]	Importe Deutschland [t]	Anteil Deutschland [%]	Weltrang Dtl.
Lithiumkarbonat HS 2836.91	80.265	6.760	8,4	5
Lithiumhydroxid, -oxid HS 2825.20	28.770, 24.200 ³	1.240 ² , 5.150 ³	4,3 ² , 21,3 ³	n. A. ² , 1 ³
Lithiumchlorid HS 2827.39.xx	4.000 ⁴	n. A.	n. A.	n. A.
Mineral-Konzentrate HS 2530.90.xx	523.400 ⁴	n. A.	n. A.	n. A.
Lithium-Ionen-Batterien HS 8507.60	3.475.825.744 ⁵	88.168.348 ⁵	2,5	6
Summe [t]⁶	109.030	8.000	n. A.	n. A.

¹ HS = Harmonized System der Weltzollorganisation (WCO), ² Angaben basieren auf Exporten nach Deutschland, da es seit 2007 einen Sperrvermerk für deutsche Importe gibt, ³ Importmengen 2007, ⁴ Schätzung aufgrund fehlender Warennummern, ⁵ Stückzahlen (Batteriezellen), ⁶ geringe Abweichung durch Rundung möglich

Deutschlands für das Jahr 2015 im Vergleich zu den weltweiten Importen der betrachteten Warengruppen dargestellt.

Für Lithiumoxid und -hydroxid werden seit 2007 aufgrund eines Sperrvermerks keine Importe mehr gemeldet. Zu Vergleichszwecken wurden daher die Werte des Jahres 2007 herangezogen. Für Lithiumchlorid und Lithium-haltige Mineral-Konzentrate stehen keine spezifischen deutschen Warencodes (8-stellig) zur Ermittlung der Einfuhrmengen zur Verfügung. Da in Deutschland aktuell kein Lithium primär gewonnen wird, besteht für dieses Metall und dessen Verbindungen eine große Importabhängigkeit.

Lithiumkarbonat (HS-Position 2836.91)

Im Jahr 2015 wurden 6.760 t Lithiumkarbonat mit einem Gesamtwarenwert von knapp 30 Mio. € nach Deutschland eingeführt (GTIS 2017). Damit lag der Anteil der deutschen Importe an den weltweiten Gesamtimporten von 80.265 t bei ca. 8,4 % (Weltrang 5).

Die Importe erfolgten hauptsächlich aus Chile (ca. 3.210 t, Weltanteil 47,4 %), Belgien (ca. 2.200 t, Weltanteil 32,5 %) und den USA (ca. 980 t, Weltanteil 14,5 %) (Abb. 46). In Summe stammten

etwa 95 % der deutschen Importe aus lediglich drei Lieferländern, von denen jedoch nur Chile und die USA Primärproduzenten sind. Betrachtet man zusätzlich die Importe Belgiens, so wird ersichtlich, dass dieses Land den Großteil seiner Importe (> 95 %) ebenfalls aus Chile bezieht. Das Verhältnis zwischen Exporten von Primärmaterial (Ursprung Chile u. a.) und Lithium aus Recyclingmaterial ist nicht bekannt, kann aber vermutlich vernachlässigt werden.

Der mithilfe des HHI berechnete Grad der Diversifizierung der Importe von Lithiumkarbonat lag im Jahr 2015 mit einem Wert von 3.532 im bedenklichen Bereich.

Mit einem Wert von 1,17 ist das GLR hingegen als unbedenklich zu bewerten. Vor allem die Importmengen aus Chile, Belgien und den USA, verbunden mit den jeweiligen Länderrisikobewertungen von 1,07 (Chile), 1,29 (Belgien) und 1,25 (USA), führen zu dem berechneten GLR. Von den nach Deutschland exportierenden Ländern wurde 2015 lediglich China als mäßig risikoreich bewertet (–0,43). Die geringen Liefermengen aus China wirken sich jedoch nicht auf das GLR aus.

Insgesamt ist die Importabhängigkeit Deutschlands für Lithiumkarbonat basierend auf den Indikatoren HHI und GLR als unbedenklich, mit einer

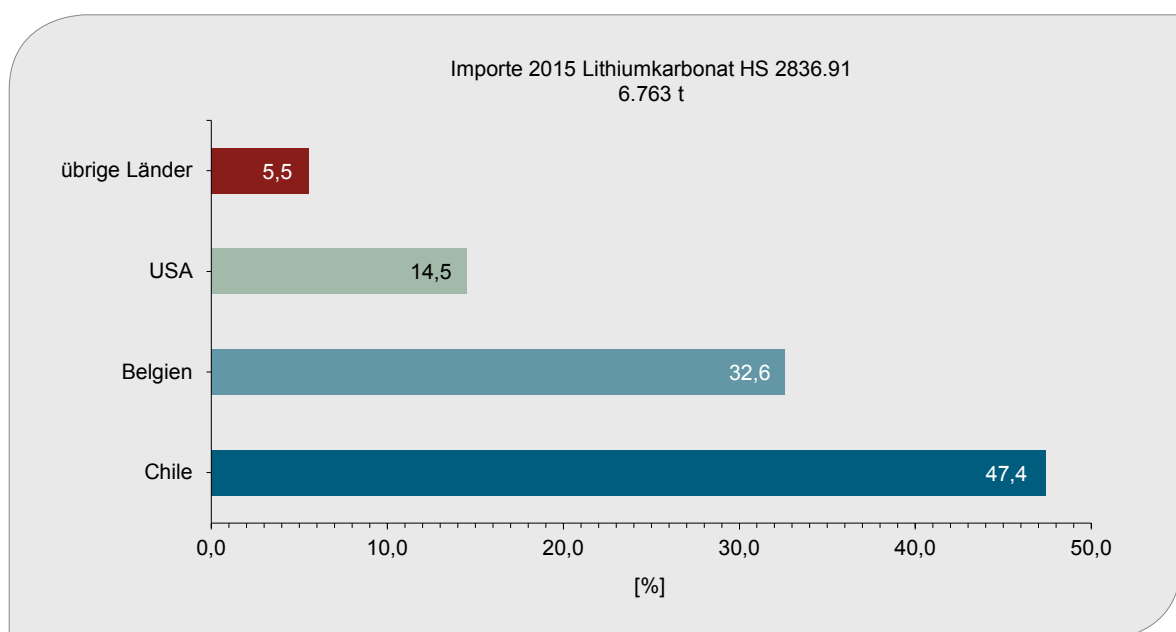


Abb. 46: Herkunft der deutschen Importe von Lithiumkarbonat im Jahr 2015 (Datenquelle: GTIS 2017).

Tendenz zum bedenklichen Bereich zu bewerten. Berücksichtigt man, dass z. B. Belgien als zweitwichtigstes Lieferland seinerseits zum überwiegenden Teil Material aus Chile bezieht, so ist der Handel mit Lithiumkarbonat deutlich weniger diversifiziert, als es der berechnete HHI vorgibt. Etwa 80 % der deutschen Importe haben ihren Ursprung in Chile. Fällt das Land als wichtiger Lieferant aus, so könnten auch die nach Deutschland exportierenden Länder nicht entsprechend liefern.

Lithiumoxid und -hydroxid (2825.20)

Importe der Warengruppe 2825.20 (Lithiumoxide und -hydroxide) nach Deutschland wurden zuletzt im Jahr 2007 gemeldet. Mit etwa 5.150 t war Deutschland in diesem Jahr weltgrößter Importeur und bezog über 62 % aus der Schweiz. Weitere Lieferanten waren die USA, China, die Russische Föderation und Großbritannien. Der Warenwert betrug etwa 9,5 Mio. € (GTIS 2017).

Für den Zeitraum ab 2008 werden keine Daten mehr laut DESTATIS veröffentlicht, da diese einer Sperrfrist unterliegen. Die deutschen Importe dieser Warengruppe können daher nur näherungsweise über „Reverse Trade“, also globale Exporte nach Deutschland, abgeleitet werden. Die ermittelten Jahresmengen liegen deutlich unter den von

Deutschland, zumindest bis 2007, gemeldeten Mengen (Abb. 47). Lagen die offiziell gemeldeten Importe Deutschlands 2007 bei den genannten 5.150 t, so werden an Exporten nach Deutschland weltweit nur etwa 2.270 t angegeben. Die folgenden Angaben sind daher nur als grobe Richtwerte zu verstehen. Seit 2008 ist darüber hinaus eine Abnahme der Exporte nach Deutschland zu beobachten.

Im Jahr 2015 wurden weltweit Exporte von Lithiumoxid und -hydroxid nach Deutschland in Höhe von 1.240 t mit einem Warenwert von rund 7,5 Mio. € angegeben (Abb. 47). Diese Exportmenge wird im Folgenden als deutsche Importmenge bezeichnet.

Diese abgeleiteten Importe erfolgten hauptsächlich aus den USA (ca. 650 t, Anteil 52,2 %), Belgien (270 t, 21,8 %) und China (100 t, 8,1 %) (Abb. 48). In Summe stammten etwa 82,1 % der deutschen Importe aus lediglich drei Lieferländern.

Der mithilfe des HHI berechnete Grad der Diversifizierung der Importe, basierend auf globalen Exporten nach Deutschland, von Lithiumoxiden und -hydroxiden lag im Jahr 2015 mit einem Wert von 3.373 im bedenklichen Bereich. Im Jahr 2007 lag der HHI bei 4.057.



Abb. 47: Vergleich der Exporte von Lithiumoxid und -hydroxid nach Deutschland zu Importen Deutschlands der gleichen Warengruppe im Zeitraum 1990–2016 (Datenquelle: GTIS 2017).

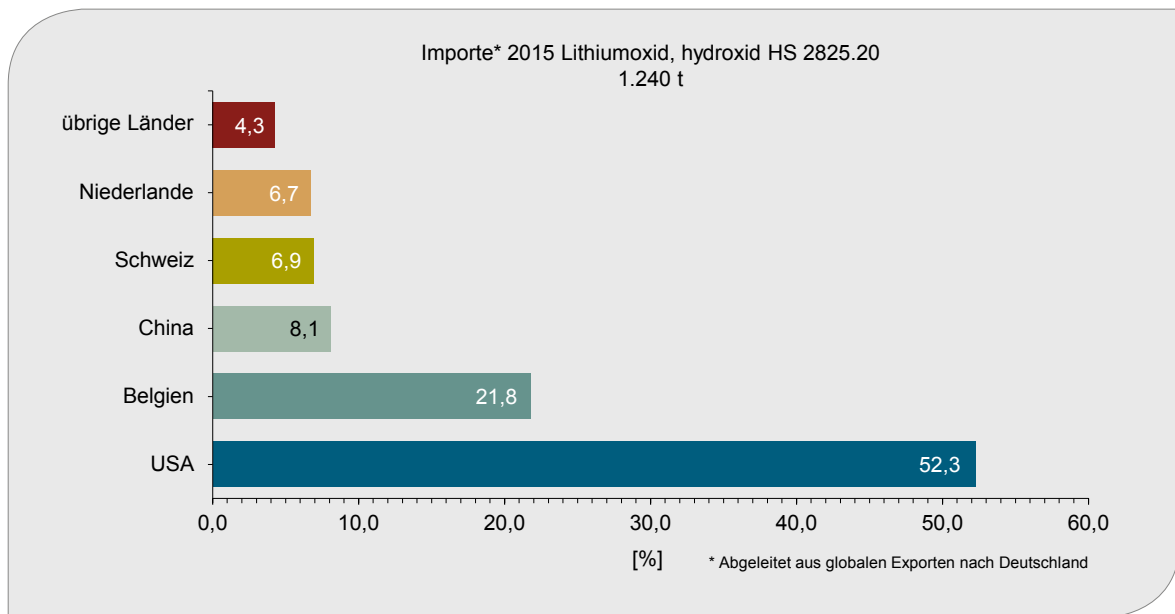


Abb. 48: Herkunft der deutschen Importe von Lithiumoxid und -hydroxid abgeleitet aus globalen Exporten nach Deutschland 2015 (Datenquelle: GTIS 2017).

Mit einem Wert von 1,19 ist das GLR hingegen als unbedenklich zu bewerten. Vor allem die Importmengen aus den USA und Belgien, verbunden mit den jeweiligen Länderrisikobewertungen von 1,25 (USA) und 1,29 (Belgien), führen zu dem berechneten GLR. Von den nach Deutschland exportierenden Ländern wurde 2015 lediglich China als mäßig risikoreich bewertet (-0,43). Die geringen

Liefermengen aus China wirken sich jedoch nicht maßgeblich auf das GLR aus.

Lithium-Ionen-Batterien (8507.60)

Im Jahr 2015 wurden 88,2 Mio. Einheiten mit einem Gesamtwarenwert von knapp 1,2 Mrd. €

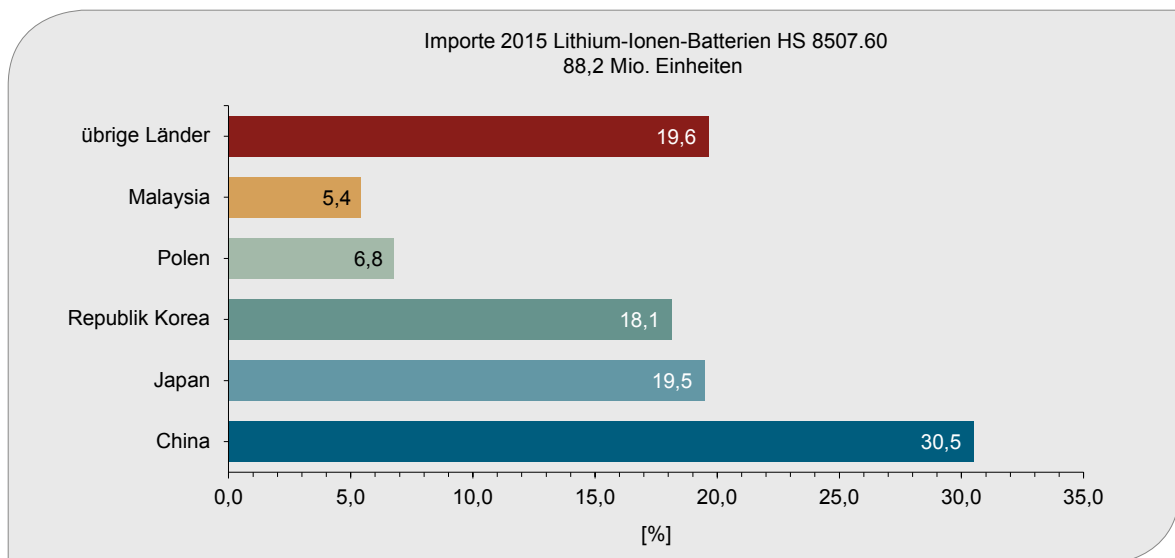


Abb. 49: Herkunft der deutschen Importe von Lithium-Ionen-Batterien 2015 (Datenquelle: GTIS 2017).

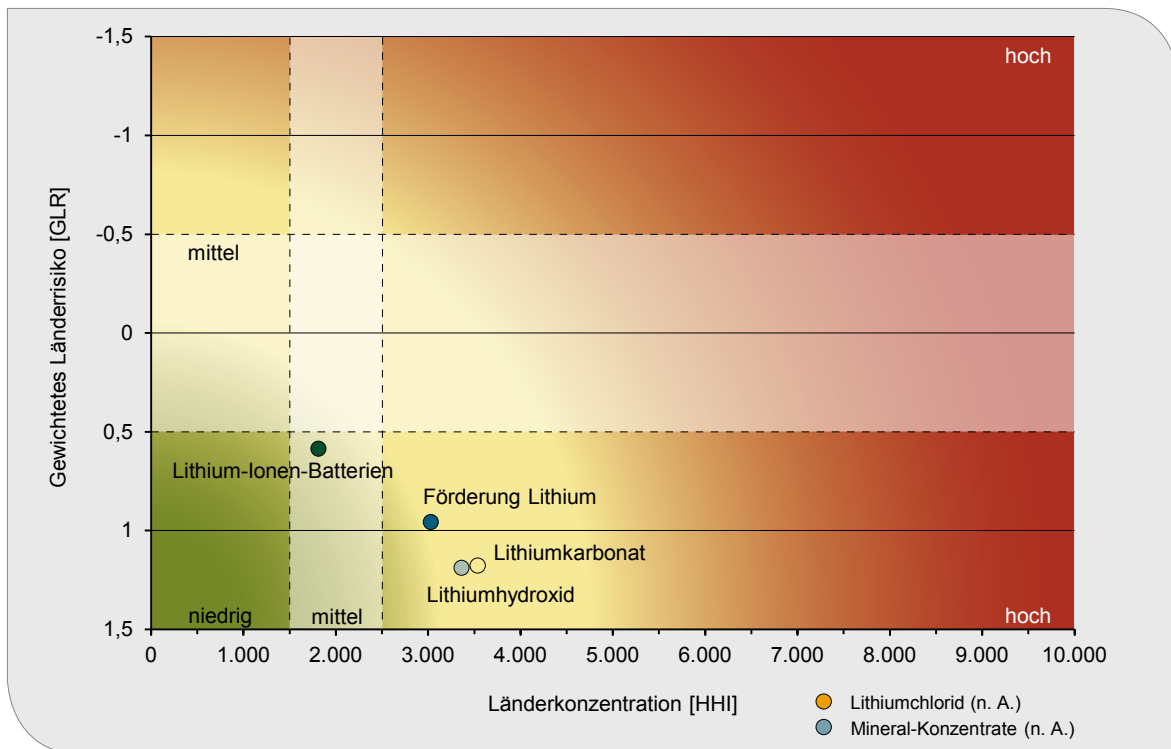


Abb. 50: Gewichtetes Länderrisiko und Diversifizierung der deutschen Importe im Vergleich zur Bergwerksförderung von Lithium.

nach Deutschland eingeführt (GTIS 2017). Damit lag der Anteil der deutschen Importe an den weltweiten Gesamtimporten von 3,48 Mrd. Einheiten bei ca. 2,5 % (Weltrang 5).

Entsprechend der globalen Wertschöpfungskette erfolgten die Importe hauptsächlich aus China (26,9 Mio. Einheiten, Weltanteil 30,5 %), Japan (17,2 Mio. Einheiten, Weltanteil 19,5 %) und der Republik Korea (16 Mio. Einheiten, Weltanteil 18,1 %) (Abb. 49).

In Summe stammten etwa 68 % der deutschen Importe aus diesen drei Lieferländern, die gleichzeitig auch die wichtigsten Batterieproduzenten sind. Weitere Lieferländer waren im Jahr 2015 Malaysia (8,2 %), Polen (5,4 %), Singapur (3,8 %), Niederlande (1,9 %) und Hongkong (0,7 %). Bis auf Polen sind diese Länder klassische Warenumschlagplätze. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die aus diesen Ländern importierten Mengen ebenfalls aus den drei erstgenannten Lieferländern stammten. Auf die Kategorie „Übrige Länder“ entfallen etwa 5 % der Importe.

Der mithilfe des HHI berechnete Grad der Diversifizierung der Importe nach Deutschland von Lithi-

um-Ionen-Batterien lag im Jahr 2015 mit einem Wert von 1.804 im mäßig bedenklichen Bereich. Im Jahr 2012 lag der HHI bei 2.676 und damit knapp im bedenklichen Bereich. Für den Zeitraum vor 2012 liegen keine Importdaten vor. Mit einem Wert von 0,58 ist das GLR hingegen als unbedenklich zu bewerten.

2.4.4 Firmenkonzentration

Die Bergwerksförderung von Lithium ist auf wenige Länder und wenige Bergbauunternehmen beschränkt. Am größten Produzenten (Talison Lithium Pty. Ltd.) sind die beiden Unternehmen Albemarle Co. und Sichuan Tianqi Lithium Co. Ltd. zu 49 % bzw. 51 % als Joint-Venture-Partner beteiligt. Das chinesische Unternehmen Sichuan Tianqi Lithium Co. Ltd. ist seit September 2016 zusätzlich mit etwa 2 % Aktienbesitz und einer Option auf weitere 7 % an dem chilenischen Unternehmen SQM S. A. beteiligt (Sanderson 2016). An dem Unternehmen Tibet Shigatse Zhabuye Lithium High-Tech Co. Ltd. hält Sichuan Tianqi Lithium rund 20 % der Anteile (SICHUAN TIANQI LITHIUM 2017).

Firmenkonzentration Bergwerksförderung Lithium

In Tab. 20 ist die unternehmerische Konzentration der Weltlithiumförderung für das Jahr 2015 vergleichend dargestellt. Anhand der Produktionszahlen der Unternehmen (Datenbasis ROSKILL 2016a) kann die globale Förderung von ca. 33.010 t Li-Inh. zu 98 % einzelnen Bergbauunternehmen zugeordnet werden. Die gesamte Struktur der Lithiumförderung stellt ein Oligopol dar, bei dem auf die vier größten Produzenten im Jahr 2015 zusammen knapp 91 % der Weltlithiumförderung entfielen. Die übrigen 9 % der Förderung entfielen auf weitere 15 Unternehmen.

Die Ausübung von Marktmacht durch weltweite Firmenkonzentration bei den Bergbauunternehmen wird, basierend auf einem berechneten Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) von ca. 2.480, als mäßig bedenklich mit Tendenz in den bedenklichen Bereich bewertet (Abb. 51). Gegenüber dem Jahr 2010 hat sich der Konzentrationsgrad nur unwesentlich verändert (2010 → Top 5: 87,3 %, HHI: 2.198).

Unter Berücksichtigung der Beteiligung von Albemarle (49 %) und Sichuan Tianqi Lithium (51 %) und Talison Lithium (Greenbushes) würde der HHI theoretisch auf einen Wert von 2.299 sinken und im mäßig bedenklichen Bereich liegen (Tab. 20).

Talison Lithium Pty. Ltd.: Größter Lithiumproduzent ist das Bergbauunternehmen Talison Lithium Pty. Ltd. Das chinesische Staatsunternehmen Sichuan Tianqi Lithium Co. Ltd. hält einen 51%igen Anteil an dem Bergwerk Greenbushes. Die übrigen 49 % werden von dem US-amerikanischen Chemiekonzern Albemarle Co. gehalten.

Die Firma mit Hauptsitz in Perth (Australien) förderte 2015 etwa 13.150 t Li-Inh. (ROSKILL

2016a). Das Unternehmen exportiert aktuell etwa 350.000 t Spodumen-Konzentrat pro Jahr (TALISON LITHIUM 2017). Dies entspricht in etwa 17.500–26.250 t Li₂O (ca. 8.120–12.180 t Li-Inh.). Das Unternehmen besitzt neben Greenbushes nördlich von Manjimup weitere Lithiumexplorationsprojekte in Chile (Atacama Provinz). In Greenbushes werden aktuell Spodumenerze abgebaut und zu Spodumen-Konzentraten weiterverarbeitet. Diese werden dann vorrangig nach China exportiert (siehe Kap. 2.3.4.1).

Talison verfügt in Greenbushes über zwei Weiterverarbeitungsanlagen, in denen Spodumen-Konzentrate der Qualitäten „Chemical Grade“ und „Technical Grade“ hergestellt werden (TALISON LITHIUM 2017). Diese werden dann nach China, die USA und Europa exportiert. Die Kapazität wurde 2012 erweitert und lag 2015 bei rund 95.000 t LCE pro Jahr, wobei die Auslastung laut ROSKILL (2016a) nur rund 77 % betrug. Eine weitere Kapazitätserweiterung wurde im Februar bzw. März 2017 angekündigt. Durch Investitionen von rund 320 Mio. US\$ soll die Kapazität bis zum Jahr 2019 auf rund 1,34 Mio. t Konzentrate steigen. Dies entspricht in etwa 180.000 t LCE (33.900 t Li-Inh.) (ALBEMARLE 2017a). Die Genehmigungen für diese geplante Erweiterung stehen jedoch noch aus.

Sociedad de Química y Minera de Chile S. A. (SQM): Der zweitgrößte Lithiumproduzent ist das 1968 gegründete Chemieunternehmen SQM. Die Firma mit Hauptsitz in Santiago de Chile förderte 2015 etwa 7.270 t Li-Inh. (ROSKILL 2016a). Neben Lithium bzw. Lithiumverbindungen produziert das Unternehmen auch Nitrate und Jodchemikalien aus Calichevorkommen im Norden Chiles. Die Weiterverarbeitung der im Salar de Atacama gewonnenen und aufkonzentrierten Lithium-haltigen Solen erfolgt in einer Anlage im Salar de Carmen, wo SQM Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid produziert. Der Transport dorthin erfolgt

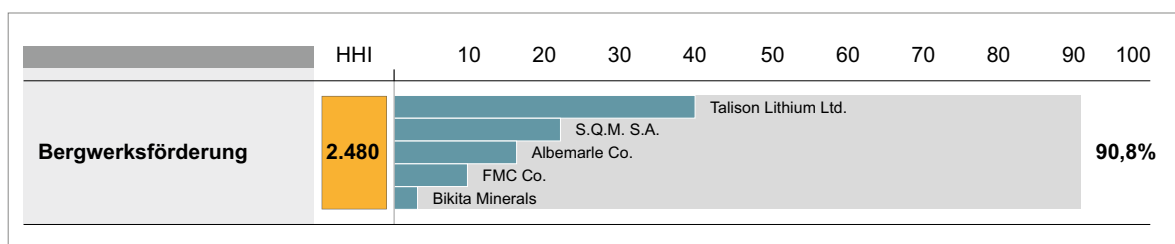


Abb. 51: Firmenkonzentration der Bergwerksförderung von Lithium für das Jahr 2015.

Tab. 20: Anteile der wichtigsten Unternehmen an der Bergwerksförderung von Lithium
(Datenquelle: BGR 2017, ROSKILL 2016a, SQM S.A. 2017, OROCOBRE 2017, ALBEMARLE Co. 2017, SNL 2017).

Unternehmen	Firmensitz	Abbauland	2015 [t Li-Inh.]	Anteil [%]	2015 [t Li-Inh.] ²	Anteil [%] ²		
Talison Lithium ¹ Pty.Ltd.	Australien	AUS	~ 13.150	39,8	0	0		
SQM S. A.	Chile	CHL	~ 7.270	22,0	~ 7.270	22,0		
Albemarle Co.	USA	CHL, AUS	~ 5.355	16,2	~ 11.930	36,1		
FMC Co.	USA	ARG	~ 3.195	9,7	~ 3.195	9,7		
Sichuan Tianqi Lithium Co. Ltd.	China	CN	0	0	~ 6.575	19,9		
Bikita Minerals	Simbabwe	ZWE	~ 1.025	3,1	~ 1.025	3,1		
CITIC Guoan Group	China	CN	~ 660	2,0	~ 660	2,0		
Zhonghe Co. Ltd.			~ 380	1,1	~ 380	1,1		
Tibet Shigatse Zhabuye Lithium Gigh-Tech Co. Ltd.			~ 280	< 1	~ 280	< 1		
Sichuan Ni & Co Guorun New Materials Co. Ltd.			~ 190	< 0,7	~ 190	< 0,7		
Zhonghe Co. Ltd.			~ 190	< 0,7	~ 190	< 0,7		
Quinghai Lithium Industry Co. Ltd.			~ 190	< 0,7	~ 190	< 0,7		
Yichun Huili Industrial Co. Ltd.			~ 40	< 0,2	~ 40	< 0,2		
Ganfeng Lithium Ltd.			~ 40	< 0,2	~ 40	< 0,2		
Xinjiang Haoxin Salt Development Co. Ltd.			~ 30	< 0,2	~ 30	< 0,2		
Quinghai Salt Lake			~ 20	< 0,2	~ 20	< 0,2		
Orocobre Ltd.			Argentinien	ARG	~ 320	1,0	~ 320	1,0
CBL			Brasilien	BRA	~ 20	< 0,2	~ 20	< 0,2
Minera del Duero			Spanien	ES	~ 20	< 0,2	~ 20	< 0,2
Summe:			~ 32.350³	98,0³	~ 32.350³	98,0³		
HHI:			2.480³		2.299³			
weitere Firmen und Länder ³			660 ³	2,0 ³	660 ³	2,0 ³		
Weltbergwerksförderung:			~ 33.010³		~ 33.010³			

¹ Joint Venture zwischen Albemarle Co. und Sichuan Tianqi Lithium Co. Ltd., ² unter Berücksichtigung der Beteiligung von Albemarle und Tianqi, ³ geringe Abweichung durch Rundung möglich

mit Tankwagen. Den größten Gewinn erzielte SQM 2016 mit den Bereichen Düngemittel, Kalisalz und Jodchemikalien. Auf Lithium entfallen nur etwa 13 % des Gesamtgewinns (SQM 2016).

Albemarle Corporation (Rockwood Lithium):

Der drittgrößte Lithiumproduzent ist das amerikanische Chemieunternehmen Albemarle Co. mit Sitz in Charlotte (USA). Im Jahr 2015 lag die Jahresproduktion bei etwa 5.360 t Li-Inh. (ROSKILL 2016a). Albemarle hat im Jahr 2014 einen Anteil

von 49 % an Greenbushes erworben. Im Jahr 2015 wurden die Rockwood Holdings Inc. inklusive aller Tochterunternehmen übernommen. Es folgte Anfang 2017 die Übernahme des chinesischen Unternehmens Jiangxi Jiangli New Materials Science and Technology Co.

Die Förderung des Unternehmens setzt sich aus dem Abbau von Spodumen in Australien über das JV mit Tianqi, der Förderung von Lithium-haltiger Sole in Chile (Salar de Atacama) und der Förderung

von Sole in den USA (Silver Peak) zusammen. In Chile, China und den USA erfolgt die Verarbeitung zu den Zwischenprodukten (Kap. 2.3.1.3). Nach Angaben von ROSKILL (2016a) entfallen auf Greenbushes 55 % der Jahresproduktion. Auf den Salar de Atacama entfallen 37 % und auf Silver Peak etwa 8 % der Produktion. Unter Berücksichtigung des JV-Anteils an Talison ist Albemarle der weltgrößte Anbieter von Lithium (Tab. 20).

FMC Corporation: Das Unternehmen FMC Co. (Food Machinery Corporation) ist ein großes Chemieunternehmen mit Sitz in Philadelphia (USA). Das Unternehmen fördert über das Tochterunternehmen Minera del Altiplano S. A. seit 1995 Lithium in Argentinien im Salar de Hombre Muerto (INDUSTRIAL MINERALS 2017). Im Jahr 2015 war FMC Lithium mit rund 3.200 t Li-Inh. viertgrößter Produzent. Intern machte der Bereich Lithium und Lithiumchemikalien jedoch nur etwa 4,5 % des Gesamtgewinns aus. Der Umsatz der Sparte lag 2015 bei etwa 238 Mio. US\$ (Anteil am Gesamtumsatz: 7,2 %) (FMC 2016).

Neben Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid stellt das Unternehmen auch Lithiumchlorid, Lithiummetall und organische Lithiumverbindungen an unterschiedlichen Standorten (Argentinien, China, Indien, Japan, UK) her. Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid machten etwa 38 % des Gesamtumsatzes aus. Der Bereich Spezialchemikalien, zu dem auch Butyllithium gehört, lag bei rund 34 % (FMC 2016). Nach Firmenangaben liegt der Fokus auf Lithiumhydroxid, Butyllithium und hochreinem Lithiummetall.

Bikita Minerals: Das fünftgrößte Unternehmen, Bikita Minerals, baut in der Masvingo Provinz, Simbabwe mit zeitlichen Unterbrechungen seit etwa 1954 Lithium-haltige Pegmatite ab. In zwei Bergwerken (Bikita, Al Hayat) werden Pegmatite

abgebaut und Petalit-Konzentrate hergestellt. Im Vergleich zu den anderen Unternehmen ist Bikita Minerals mit einer Jahresproduktion von ca. 1.000 t Li-Inh. eher klein, jedoch werden die qualitativ hochwertigen Konzentrate in der Glas- und Keramikindustrie geschätzt und entsprechend in diese Märkte exportiert. Für das Jahr 2017 ist eine Kapazitätserweiterung geplant.

Firmenkonzentration Weiterverarbeitung Lithium (Lithiumchemikalien)

Die Weiterverarbeitung von Lithium zu Lithiumchemikalien richtet sich nach der Methode, wie es primär gewonnen wurde, sowie dem Verwendungszweck (siehe Kap. 1.2, S. 22).

Lithium-haltige Solen wie sie in Chile, Argentinien, aber auch den USA gefördert werden, werden zum überwiegenden Teil auch durch die fördernden Firmen vor Ort zu den wichtigsten Zwischenprodukten (Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid) weiterverarbeitet. Diese Produkte werden entsprechend exportiert und weiterverarbeitet. Die Anzahl der Unternehmen, die Lithium-haltige Solen zu ersten Zwischenprodukten verarbeiten, entspricht daher auch in etwa den Unternehmen, die Lithium primär gewinnen.

Unternehmen, die Lithium in Form von Mineral-Konzentraten gewinnen, exportieren diese Produkte in die verschiedenen Märkte. Die Weiterverarbeitung zu Lithiumchemikalien (Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid) erfolgt durch eine Vielzahl von Unternehmen, vorrangig in China. (Tab. 21).

Die globale Produktion, basierend auf Daten von ROSKILL (2016a), kann zu knapp 99,9 % einzelnen Unternehmen zugeordnet werden. Auf die vier größten Produzenten entfielen 2015 etwa 74 %

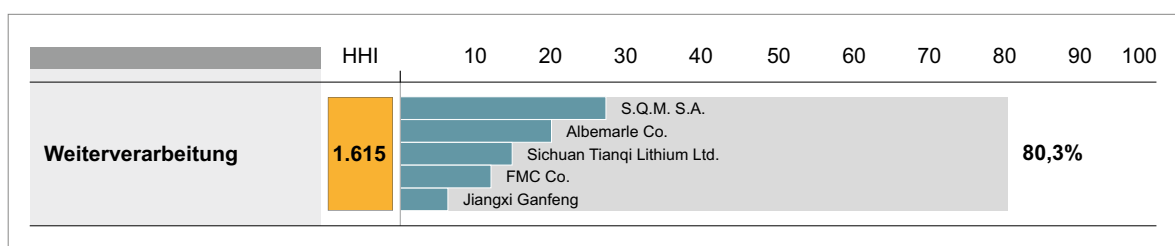


Abb. 52: Firmenkonzentration der Unternehmen, die im Jahr 2015 Lithiumchemikalien (Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid) hergestellt haben.

der Weltproduktion von Lithiumchemikalien (Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid) (Tab. 21).

Die Ausübung von Marktmacht durch weltweite Firmenkonzentration bei diesen Unternehmen wird, basierend auf einem berechneten HHI von ca. 1.615, als mäßig bedenklich mit Tendenz in den unbedenklichen Bereich bewertet (Abb. 52). Gegenüber dem Jahr 2010 hat sich der Konzentrationsgrad gesenkt (2010 → Top 4: 81,2 %, HHI: 2.004).

Sociedad de Quimica y Minera de Chile SA (SQM): Das Unternehmen transportiert die im Salar de Atacama angereicherte Sole mit Tanklastern in die Verarbeitungsanlage im Salar de Carmen nordöstlich von Antofagasta. Dort werden die Produkte Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid und Lithiumchlorid hergestellt. Die Anlage hat eine Gesamtkapazität von rund 48.000 t LCE. Die Kapazität für die Produktion von Lithiumhydroxid liegt bei ca. 6.000 t LiOH. Die Kapazitätsauslastung lag 2015 bei etwa 77 % und im Zeitraum

2010–2015 bei ca. 83 % (ROSKILL 2016a). Über den Tiefseehafen von Antofagasta werden die Produkte verschifft.

Albemarle Corporation: Die im Salar de Atacama geförderte und angereicherte Sole wird analog zu SQM mit Tanklastwagen in die Verarbeitungsanlage La Negra transportiert. In diesem Industriepark, östlich der Hafenstadt Antofagasta, an der Panamerica Norte Nr. 5 gelegen, betreibt Albemarle (ehemals Rockwood Lithium) seit etwa 1984 (Rockwood Litio Ltda.) Produktionsanlagen zur Herstellung von Lithiumkarbonat unterschiedlicher Qualitäten sowie Lithiumchlorid. Die Anlage hat laut ROSKILL (2016a) eine Kapazität von rund 29.000 t LCE pro Jahr. Durch eine Erweiterung soll die Kapazität im Jahr 2017 auf rund 49.000 t LCE ansteigen. Die Kapazitätsauslastung lag laut ROSKILL (2016a) bei rund 88 % (2010–2015). La Negra sowie die Förderanlage im Salar de Atacama sind 100%ige Tochterunternehmen der Sociedad Chilena de Lithio. Die hergestellten Produkte werden in unterschiedlichen Abpackungen (20 kg–1 t)

Tab. 21: Weiterverarbeiter Lithium-haltiger Solen und Konzentrate im Jahr 2015 (Herstellung von Lithiumchemikalien) (Datenquelle: ROSKILL 2016a, BGR 2017).

Unternehmen	Firmensitz	Produktionsland	2015 [t Li-Inh.]	Anteil [%]
SQM S. A.	Chile	Chile	~ 7.270	27,2
Albemarle Co.	USA	Chile,USA	~ 5.355	20,0
Sichuan Tianqi Lithium Co. Ltd.	China	China	~ 3.950	14,8
FMC Co.	USA	Argentinien	~ 3.200	12,0
Jiangxi Ganfeng Lithium Ltd.	China	China	~ 1.690	6,3
Sichuan Ni & Co Guorun New Materials Co. Ltd.	China	China	~ 1.220	4,6
Zhonghe Co. Ltd.	China	China	~ 1.035	3,9
General Lithium	China	China	~ 940	3,5
Shangdong Raifu Lithium	China	China	~ 470	1,8
CITIC Guoan Group	China	China	~ 660	2,5
Orocobre Ltd.	China	China	~ 320	1,2
Tibet Shigatse Zhabuye Lithium Gigh-Tech Co. Ltd.	China	China	~ 280	1,1
Quinghai Lithium Industry Co. Ltd.	China	China	~ 190	0,7
CBL	Brasilien	Brasilien	~ 110	< 0,5
Quinghai Salt Lake	China	China	~ 20	< 0,1
Summe:			~ 26.715¹	99,9¹
HHI:			1.615¹	
weitere Firmen (Recycling) ¹			20 ¹	0,1 ¹
Weltproduktion Lithium-Verbindungen:			~ 26.735¹	

¹ Geringe Abweichung durch Rundung möglich

ebenfalls über den Hafen von Antofagasta weltweit exportiert.

In den USA fördert das Unternehmen über ein Tochterunternehmen in Silver Peak (Clayton Valley) im Bundesstaat Nevada Lithium-haltige Solen und verarbeitet diese vor Ort zu Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid. Dieses Vorkommen wird seit 1966 genutzt und ist namensgebend für den Produktionsprozess.

Die Kapazität der Anlage in Silver Peak liegt bei rund 6.000 t LCE pro Jahr bei einer Produktion von ca. 4500 t LCE. In Kings Mountain (Bundesstaat North Carolina) verarbeitet Albemarle Ausgangschemikalien aus La Negra und Silver Peak, um Lithiumhydroxid, Lithiumbromid, Lithiumchlorid, Lithiummetall, Lithiumaluminat sowie hochreines Lithiumkarbonat herzustellen (ROSKILL 2016a). Kings Mountain stellt darüber hinaus ein wichtiges Pegmatitvorkommen für das Unternehmen dar. Das dortige Bergwerk ist seit den 1980er Jahren nicht mehr in Betrieb. Auch die ehemalige Aufbereitungsanlage ist nicht mehr vorhanden.

Sichuan Tianqi Lithium Co. Ltd.: Das chinesische Unternehmen Tianqi ist, wie bereits erwähnt, mit einem Anteil von 49 % an Greenbushes in Australien beteiligt. Die dort produzierten Spodumen-Konzentrate werden nach China exportiert und von Tianqi in Zhangjiagang (Jiangsu) zu Lithiumkarbonat weiterverarbeitet. Die Anlage (Jiangsu Lithium Carbonate Plant, Jiangsu Yangtze River International Chemical Industrial Park) wurde 2015 von Galaxy Resources für 230 Mio. US\$ übernommen und ist nach Angaben von Tianqi die momentan größte Anlage ihrer Art. Die Kapazität lag 2015 laut ROSKILL (2016a) bei rund 11.500 t LCE.

Eine weitere Anlage befindet sich in Shehong (Chengdu-Chongqing Economic Zone), wo das Unternehmen seit etwa 1995 unterschiedliche Produkte (Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid, Lithiumchlorid u. a.) aus Spodumen-Konzentraten und Sole herstellt. Die Kapazität dieser Anlage lag 2015 bei rund 18.000 t LCE. Durch eine Erweiterung soll die Produktion von Lithiumhydroxid (Battery Grade) ermöglicht werden. Nach eigenen Angaben ist Tianqi darüber hinaus mit 20 % an der Firma Tibet Shigatse Zhabuye Lithium High-Tech Co Ltd. beteiligt (Tianqi Lithium 2017). Die Kapazität dort lag 2015 laut ROSKILL (2016a) bei rund 6.000 t LCE.

Im Oktober 2016 hat Tianqi bekanntgegeben, dass die Firma 2017 mit dem Bau einer Weiterverarbeitungsanlage von Konzentraten zu Lithiumhydroxid in Kwinana beginnen wird. Diese Anlage stellt ein Investment von rund 400 Mio. US\$ dar und soll Ende 2018 etwa 24.000 t Lithiumhydroxid pro Jahr aus Spodumen-Konzentraten von Talison produzieren (TIANQI LITHIUM 2017).

FMC Corporation: Das Unternehmen produziert im Salar de Hombre Muerto seit etwa 1995 über das Tochterunternehmen (Minera del Altiplano) Lithiumkarbonat (Fenix). Ein Teil der aufkonzentrierten Sole wird in eine Anlage nach Guemes (Salta) transportiert, wo Lithiumchlorid gewonnen wird. Dieses wird dann hauptsächlich in die USA und nach China exportiert. In den USA (Bessemer City, North Carolina) werden aus Lithiumkarbonat (Salar de Hombre Muerto) und Lithiumchlorid (Guemes) unterschiedliche organische und anorganische Lithiumverbindungen hergestellt. In Bromborough wird aus Lithiummetall (Bessemer City) Butyllithium hergestellt (ROSKILL 2016a). Die Anlagen von FMC Lithium haben eine Gesamtkapazität von rund 26.000 t LCE.

Jiangxi Ganfeng Lithium: Das relativ junge chinesische Unternehmen Jiangxi Ganfeng Lithium Co. Ltd. ist durch Tochterunternehmen und Beteiligungen sowohl im Bergbau als auch in der Weiterverarbeitung von Lithium aktiv. Ende 2015 kaufte Ganfeng das chinesische Unternehmen Jiangxi Western Resources Lithium Industry inklusive des Bergwerks Heyuan. Das dort produzierte Spodumen-Konzentrat wird in der firmeneigenen Anlage Yushui verarbeitet. Im Zuge dieser Akquisition wurde auch die Lithiumkarbonatanlage Hongjin erworben. Diese hat eine Kapazität von rund 5.000 t LCE.

Mit einer Beteiligung von 43,1 % ist Ganfeng an dem Eigner des Mt. Marion Bergwerkes in Australien, Reed Industrial Minerals, beteiligt. Dieses Bergwerk hat 2016 die Förderung aufgenommen und produziert Spodumen-Konzentrate. An der Firma International Lithium Corporation ist Ganfeng mit 17,5 % beteiligt. Dieses Unternehmen exploriert aktiv Projekte in Argentinien, Irland und Kanada.

Über die beiden 100%igen Tochterunternehmen Xinyu Ganfeng Organic Lithium und FengXin Ganfeng Lithium betreibt Ganfeng in China Anlagen

zur Herstellung unterschiedlicher Lithiumverbindungen.

Die Anlage in Yushui (Jiangxi Provinz) wird von dem Tochterunternehmen Xinyu Ganfeng Organic Lithium betrieben. Diese Anlage produziert hauptsächlich Butyllithium und Butylchlorid. Im Jahr 2006 wurde Yushui um eine Produktionsanlage für Lithiumchlorid und Lithiumfluorid erweitert. In dieser Anlage werden importierte Lithium-haltige Solen verarbeitet. Die Kapazität lag laut ROSKILL (2016a) bei etwa 10.000 t LCE. 2013 erfolgte eine Erweiterung zur Herstellung von Lithiumhydroxid aus importierten Spodumen-Konzentraten bzw. Konzentraten aus Heyuan. Die Kapazität liegt bei rund 11.000 t LCE. Die Anlagen Fengtian und Yichun, beide in der Jiangxi-Provinz gelegen, werden von dem Tochterunternehmen FengXin Ganfeng Lithium betrieben. Hier wird vorrangig Lithiummetall aus Vorprodukten der Yushui-Anlage hergestellt. Die kombinierte Kapazität liegt bei rund 8.560 t LCE (ROSKILL 2016a).

Firmenkonzentration der Produktion von Lithium-haltigen Mineral-Konzentraten der Kategorie „Technical Grade“

Lithium-haltige Mineral-Konzentrate werden nicht nur zur Herstellung von Batterierohstoffen (Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid) verwendet, sondern finden auch in anderen Anwendungsbereichen wie der Keramik-, Glaskeramik- und Glasindustrie Anwendung.

In Tab. 22 ist die unternehmerische Konzentration dieser Produzenten für das Jahr 2015 dargestellt. Die globale Produktion, basierend auf Daten von ROSKILL (2016a), kann zu knapp 87 % einzelnen Bergbauunternehmen zugeordnet werden.

Allein auf den größten Produzent (Talisson Lithium) entfielen 2015 etwa 70 % der Weltproduktion von Lithium-haltigen Konzentraten der Kategorie „Technical Grade“. Auf das zweitgrößte Unternehmen (Bikita Minerals) entfallen knapp 16 % Anteil (Tab. 22).

Die Ausübung von Marktmacht durch weltweite Firmenkonzentration bei den Bergbauunternehmen wird, basierend auf einem berechneten Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) von ca. 5.179, als bedenklich bewertet (Abb. 53). Gegenüber dem Jahr 2010 hat sich der Konzentrationsgrad erhöht (2010 → Top 2: 82,7 %, HHI: 4.482).

Die Unternehmen Talison Lithium und Bikita Minerals wurden bereits ausführlich beschrieben (s. o.). Der Abbau in Portugal kann keinem einzelnen Unternehmen zugeordnet werden.

Companhia Brasileira de Lithio (CBL): Die Firma baut Spodumen-haltige Pegmatite in einem Tagebau (Mina da Cachoeira, Bundesstaat Minas Gerais) ab. Die Kapazität liegt laut ROSKILL (2016a) bei rund 1.200 t LCE. Ein Großteil dieser Konzentrate wird in einer Weiterverarbeitungsanlage (Divisa Alegria) zu Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid verarbeitet. Diese Anlage verarbeitet auch

Tab. 22: Anteil der wichtigsten Unternehmen im Jahr 2015, die Lithium-haltige Konzentrate der Kategorie „Technical Grade“ herstellen (Datenquelle: ROSKILL 2016a, BGR 2017).

Unternehmen	Firmensitz	Produktionsland	2015 [t Li-Inh.]	Anteil [%]
Talison Lithium Pty. Ltd. ¹	Australien	Australien	~ 4.510	70,2
Bikita Minerals	Simbabwe	Simbabwe	~ 1.025	15,9
CBL	Brasilien	Brasilien	~ 30	0,4
Minera del Duero	Spanien	Spanien	~ 20	0,3
Summe:			~ 5.585²	86,8²
HHI:			5.179²	
weitere Firmen und Länder ³			845 ²	13,2 ²
Weltproduktion „Technical Grade“-Konzentrate:			~ 6.430²	

¹ Joint Venture zwischen Albemarle Co und Sichuan Tianqi Lithium Co Ltd., ² geringe Abweichung durch Rundung möglich,

³ enthält China und Portugal

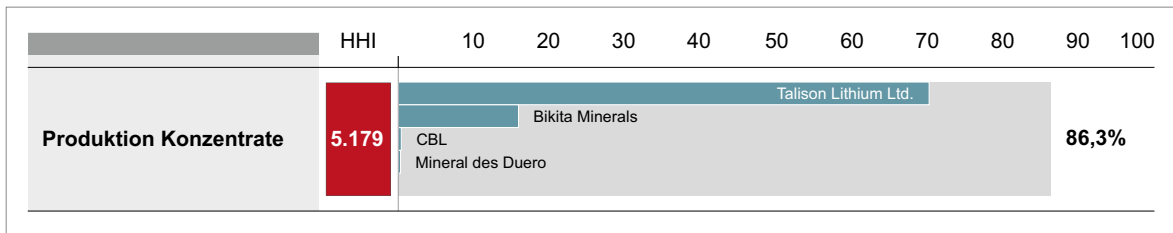


Abb. 53: Firmenkonzentration der Unternehmen, die im Jahr 2015 Lithium-haltige Konzentrate der Kategorie „Technical Grade“ hergestellt haben.

Mineral-Konzentrate anderer Länder (z. B. China). Weiterhin werden Konzentrate in die Glas- und Keramikindustrie verkauft.

Reserven befinden sich in China (3,2 Mio. t Li-Inh., 22,1 %), Argentinien (2 Mio. t Li-Inh., 13,8 %) und Australien (1,6 Mio. t Li-Inh., 11,1 %). Weitere 170.000 Li-Inh. (1,2 %) entfallen auf die Kategorie „Übrige Länder“ (inkl. USA, Simbabwe, Portugal). Angaben zu den Reserven Boliviens im Salar de Uyuni sind nicht verfügbar.

2.5 Angebots- und Nachfragetrends

2.5.1 Vorräte

Die weltweiten Reserven von Lithium werden vom USGS (2017) mit 14,5 Mio. t Li-Inh. angegeben (Abb. 54). Der Großteil dieser Reserven konzentriert sich in Chile (7,5 Mio. t Li-Inh., 51,8 %). Weitere

Die DEUTSCHE BANK (2016) beziffert die globalen Lithiumreserven mit rund 19 Mio. t Li-Inh. Die individuellen Länderanteile schwanken gegenüber den Angaben des USGS jedoch zum Teil beträchtlich (Abb. 54).

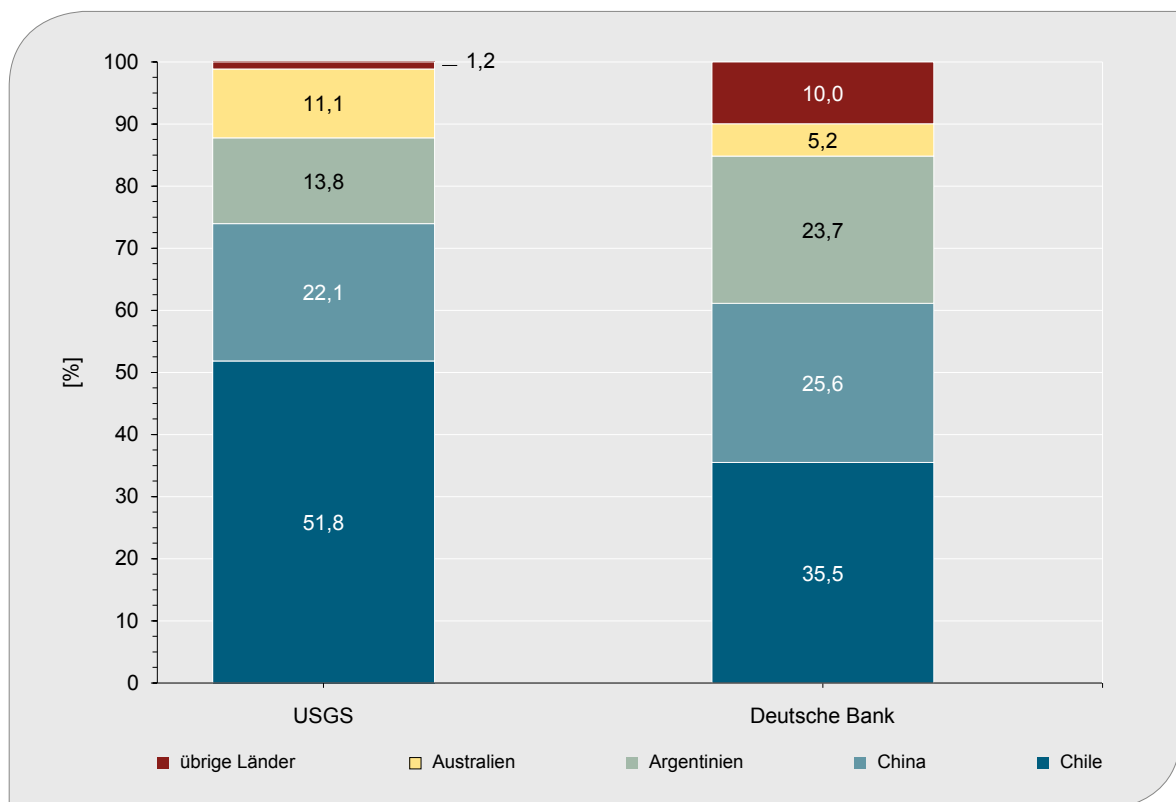


Abb. 54: Prozentuale Verteilung der weltweiten Lithium-Reserven für das Jahr 2017 (Datenquelle: USGS 2017, DEUTSCHE BANK 2016).

ROSKILL (2016a) gibt die globalen Reserven, abweichend zu den beiden erstgenannten Quellen, basierend auf tatsächlich momentan in Produktion befindlichen Unternehmen an. Diese liegen mit rund 7 Mio. t Li-Inh. deutlich unter den vorher genannten Mengen, da viele Unternehmen (z. B. Albemarle, FMC, Orocobre) keine Angaben zu Reserven und Ressourcen machen.

Dem USGS (2017) nach liegen die Lithiumressourcen (inferred, indicated, measured) bei etwa 41 Mio. t Li-Inh. In dieser Kategorie führt Bolivien das Ranking mit rund 9 Mio. t Li-Inh. (22 %) an (Abb. 55). Nach GRUBER et al. (2011) belaufen sich die Ressourcen im Salar de Uyuni auf ca. 10,2 Mio. t Li-Inh. Garret (2004) beziffert die Ressourcen Boliviens aber nur mit etwa 5–5,5 Mio. t Li-Inh. Es folgen Chile (7,5 Mio. t Li-Inh., 18,3 %), USA (6,7 Mio. t Li-Inh., 16,3 %) und Argentinien (6,5 Mio. t Li-Inh., 15,9 %). China liegt mit rund 5,1 Mio. t Li-Inh. und einem Anteil von 12,4 % an fünfter Stelle. Australien befindet sich als wichtigster Lieferant von Spodumen-Konzentraten mit rund 1,7 Mio. t Li-Inh. (4,1 %) auf Rang sechs.

Die DEUTSCHE BANK (2016) gibt die weltweiten Lithiumressourcen (inferred, indicated, measured) mit etwa 51 Mio. t Li-Inh. an. Die drei wichtigsten Länder sind auch hier Bolivien (10,1 Mio. t Li-Inh., 19,8 %), Argentinien (9,6 Mio. t Li-Inh., 18,7 %) und Chile (6,9 Mio. t Li-Inh., 13,6 %) (Abb. 55).

Nach ROSKILL (2016a) liegen die globalen Ressourcen, basierend auf tatsächlich momentan in Produktion befindlichen Unternehmen, bei rund 8,5 Mio. t Li-Inh. und damit deutlich unter den vorher genannten Mengen. Ursächlich dafür ist, dass Länder wie Chile und Bolivien, Brasilien und Serbien in dieser Angabe nicht berücksichtigt sind.

Lebensdauer kennziffer und Explorationsgrad

Die Lebensdauer kennziffer (s. Glossar im Anhang) errechnet sich aus dem Verhältnis der weltweiten Reserven zur weltweiten Bergwerksförderung eines Jahres. Die Ziffer gibt einen Hinweis auf den Stand der Exploration.

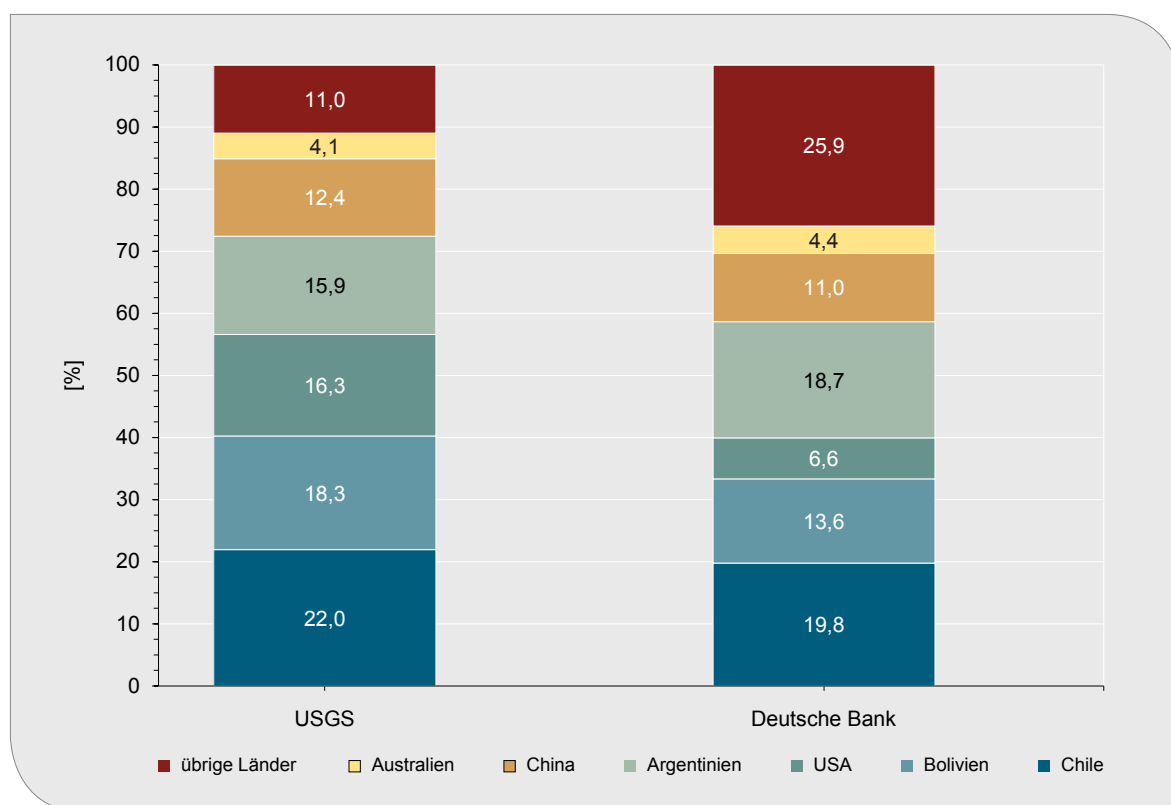


Abb. 55: Prozentuale Verteilung der weltweiten Lithium-Ressourcen für das Jahr 2017 (Datenquelle: USGS 2017, DEUTSCHE BANK 2016).

Ausgehend von der aktuellen Bergwerksförderung von Lithium von rund 33.011 t Li-Inh. sowie den Reserven nach Angaben des USGS (2017) liegt die berechnete Lebensdauer bei etwa 440 Jahren und damit im unbedenklichen Bereich. Im Vergleich zu 2005 hat sich die Lebensdauer kennziffer mehr als verdoppelt (213 Jahre). Zum Explorationsgrad und zum Explorationsbudget liegen für den Lithiummarkt keine Daten vor.

Die Reichweite der Reserven ist unkritisch, sofern ausreichend hohe Explorationsbudgets bei den Firmen vorhanden sind, laufend Investitionen in Betriebserweiterungen getätigt oder neue Bergwerke gebaut werden. Aus diesem Grund wird aus der Lebensdauer kennziffer und dem Explorationsbudget der Explorationsgrad ermittelt. Eine bedenkliche Situation wäre dann erreicht, wenn die Lebensdauer kennziffer stark sinken würde, gleichzeitig wenig Geld in die Exploration fließt und Aussicht auf steigende Nachfrage besteht.

Länderkonzentration und Länderrisiko der Reserven

Etwa 85 % der bekannten Lithiumreserven konzentrieren sich auf lediglich fünf Länder. Der HHI ist mit einem Wert von ca. 3.490 entsprechend hoch und die Länderkonzentration somit als bedenklich einzustufen (s. Anhang). Das gewichtete Länderrisiko der Reserven liegt mit einem Wert von 0,55 im unbedenklichen Bereich (s. Anhang) mit Tendenz in den mäßig bedenklichen Bereich. Vor allem Länder wie Argentinien, China, Brasilien und Simbabwe wirken sich aufgrund ihrer negativen Länderbewertungen negativ auf das GLR aus. Vorteilhaft für das GLR sind hingegen die Bewertungen der Länder Australien, Chile und USA.

2.5.2 Call for Lithium (Chile Invest)

In Chile ist Lithium seit dem Jahr 1975 „Material of Nuclear Interest“ und wird durch die CCHEN (Chilean Nuclear Energy Commission) verwaltet. Seit 1979 ist Lithium Staatseigentum und Lizenzen zum Abbau werden ausschließlich von CORFO (Corporación de Fomento de la Producción) vergeben. CORFO ist eine chilenische Behörde, die 1939 zur Wirtschaftsförderung gegründet wurde. Aktuell hat diese Behörde vier Kernaufgaben:

- Stärkung der Forschung und technologischen Entwicklung mit wirtschaftlicher Bedeutung.
- Förderung von Geschäftspartnerschaften vor allem kleiner und mittlerer Unternehmen, um deren Konkurrenzfähigkeit zu stärken.
- Modernisierung der Verwaltung von Privatunternehmen zur Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit.
- Investitionsförderung für Jungunternehmer, Exporteure und Kleingewerbe.

Die beiden in Chile aktuell produzierenden Unternehmen Rockwood Lithio Ltda. (Albemarle) und SQM (Sociedad Quimica y Minera de Chile S. A.) gehen in ihren Ursprüngen auf Gründungen unter Beteiligung von CORFO zurück.

1975 wurde die Sociedad Chilean del Lithio (SCL) durch Foote Minerals und CORFO gegründet. Im Jahr 1980 wurde SCI eine feste Förderquote erteilt. Ende der 1980er Jahre verkaufte CORFO seine Anteile. Über mehrere Firmenübernahmen (Foote → Cyprus → Chemetall → Rockwood Lithium) wurden die Abbau lizenzen 2016 an Albemarle übertragen. Im Februar 2016 wurde zwischen CORFO und Rockwood Lithium ein Memorandum Of Understanding (MOU) zur Erhöhung der Förderquote im Salar de Atacama geschlossen. Im Januar 2017 wurde dieses MOU in einen Rahmenvertrag umgewandelt (ALBEMARLE 2017b).

Die Sociedad Quimica y Minera de Chile S. A. (SQM) hat ihren Ursprung in einer Firmengründung aus dem Jahr 1986 (Sociedad Mineral S. A.) durch CORFO, Amax und Molymet. Im Jahr 1993 kaufte SQM die Anteile von Amax und Molymet. Nachdem eine feste Förderquote durch CORFO bzw. CCHEN vergeben wurde, verkaufte CORFO seine restlichen Anteile an SQM.

Außer diesen beiden Unternehmen, mit Ausnahme von CODELCO, besitzt aktuell keine Firma in Chile Abbau lizenzen bzw. Förderquoten für Lithium. Das staatliche Unternehmen CODELCO besitzt über eine 2017 gegründete Firma (Salar de Maricunga SpA) die Rechte am Salar de Maricunga und Salar de Pedernales. Laut CORFO (2017a) sollen diese Vorkommen entwickelt werden. Hierzu hatte CODELCO im Jahr 2016 eine Ausschreibung für eventuelle strategische Partnerschaften. Ergebnisse dieser Ausschreibung liegen noch nicht vor.

In den letzten Monaten hat die chilenische Regierung begonnen, die Lithiumindustrie im Land zu reformieren und zu öffnen. Im Rahmen eines Programms (Lithium Call) soll Chile nun als Standort für die Lithiumindustrie deutlich attraktiver gestaltet werden. Das Ziel ist, die Ansiedlung von Firmen zu fördern, die in der Herstellung von Produkten der höheren Wertschöpfung aktiv sind. Darüber hinaus möchte die chilenische Regierung das Land zu einem Exporteur für Solarstrom machen. Hierzu hat die Regierung zusammen mit CORFO das „Programa Estrategico Solar“ und das Solar District Project (DTS) ins Leben gerufen. In diesem Projekt geht es nicht nur um die Generierung von Solarstrom und dessen Export, sondern auch um die Nutzung in integrierten Industrieparks zur Herstellung unterschiedlicher Produkte, die z. B. einen direkten Bezug zur E-Mobilität haben.

Am 18.05.2017 wurde der „Lithium Call“ in Frankfurt am Main von CORFO, Invest Chile und Albemarle in Gegenwart des chilenischen Botschafters deutschen Unternehmen vorgestellt. Invest Chile ist eine staatliche Behörde zur Förderung ausländischer Investitionen in Chile. Die Bewerbungsfrist für interessierte Unternehmen wurde auf den 30.06.2016 gesetzt. Die Rahmenbedingungen hierzu können unter www.corfo.cl eingesehen werden.

Das Förderprogramm ist seitens CORFO direkt und bisher exklusiv an die Abnahme von Vorprodukten von Albemarle (Rockwood Lithium Ltda.) gebunden. Das Unternehmen SQM findet bisher keine Berücksichtigung. Firmen, die sich in Chile ansiedeln wollen, erhalten im Rahmen dieses Programms einen exklusiven Zugriff auf Lithiumkarbonat, Lithiumhydroxid und auch Lithiumchlorid zu stabilen und konkurrenzfähigen Vorzugspreisen. Die Preisgestaltung richtet sich nach den durchschnittlichen, niedrigsten Exportpreisen von Rockwood Lithium Ltda. (FOB Chile) der jeweils letzten sechs Monate (Corfo 2017a). Im Gegenzug wird den Unternehmen die sichere Lieferung der genannten Vorprodukte bis zum Jahr 2044 garantiert. Die Produktion von Lithiumhydroxid und Lithiumchlorid bzw. hochreinem Lithiumkarbonat aus den von Rockwood Lithium Ltda. gelieferten Vorprodukten ist im Rahmen dieser Förderung nicht zulässig. Unter Produkten der höheren Wertschöpfung werden z. B. Kathoden, Batteriekomponenten bzw. andere Lithiumverbindungen verstanden.

Im Folgenden sind die Vertragsrahmenbedingungen kurz zusammengefasst:

- Garantierte Lieferung von Lithiumkarbonat, -hydroxid und/oder -chlorid durch Rockwood Lithium Ltda. über einen Zeitraum von min. 27 Jahren bis einschließlich 2044.
- Garantierte niedrigste Preise für Langzeitlieferverträge.
- Anfänglich stehen ca. 6.700 t LCE (1.260 t Li-Inh.) zur Verfügung.
- Rockwood Lithium Ltda. darf im Rahmen des Programms initial bis zu 15 % der theoretischen Gesamtkapazität an Firmen abgeben.
- Maximal darf Rockwood Lithium Ltda. 25 % der theoretischen Gesamtkapazität an Firmen abgeben.
- Für den Zeitraum 2023–2044 sollen 16.000 t LCE (ca. 3.000 t Li-Inh.) zur Verfügung stehen.
- Weitere 4.000 t LCE werden dann in Form von LiOH und LiCl zur Verfügung stehen.

Zur Ansiedlung dieser wertschöpfenden Industrie unterstützt CORFO zusammen mit Invest Chile und dem Ministry of National Assets interessierte Unternehmen auch in ihrer Standortwahl. Hierzu wurden sechs bestehende Industriegebiete ausgewählt, in denen es den Unternehmen ermöglicht werden soll, zu Sonderkonditionen Land zu erwerben und sich anzusiedeln.

Zu diesen Industriegebieten zählen: Alto Hospicio (Iquique), La Negra Sur, La Negra Norte, Mejillones, Salar des Carmen, Diego de Almagro (CORFO 2017b). Insbesondere energieintensive Industrien können darüber hinaus im Norden des Landes die günstigen Preise aus erneuerbaren Energiequellen nutzen.

Das übergeordnete Ziel dieses Programms ist es, den Marktanteil Chiles konstant zu halten bzw. auszubauen. Ohne diese Vereinbarung würde der Anteil Chiles im Jahr 2025 nach Berechnungen der DERA auf unter 20 % sinken (Kap. 2.5.6.1). Laut CORFO (2017a) würde der Marktanteil Chiles im Jahr 2025 ohne das Programm bei etwa 25 % liegen.

2.5.3 Potenziale in Bolivien

Bolivien verfügt aufgrund seiner Ressourcen von rund 9 Mio. t Li-Inh. über ein sehr großes Potenzial zur Lithiumgewinnung (USGS 2017). Im Länder-ranking liegt Bolivien somit an zweiter Stelle hinter Chile und vor den USA und Argentinien in Bezug auf seine Lithiumressourcen (Kap. 2.5.1, S.92). Angaben zu Reserven für das Land liegen jedoch nicht vor.

Lithium kommt in Bolivien vor allem im Salar de Uyuni vor, dem mit ca. 10.600 km² größten Salar der Erde. Er liegt im Altiplano auf einer Höhe von etwa 3.653 m. Die Region ist durch eine ausgeprägte Regenzeit (Dezember–Juni) geprägt. Darüber hinaus unterscheidet sich der Salar de Uyuni bezüglich seiner Lithium-, Magnesium- und Sulfatgehalte deutlich von z. B. dem Salar de Atacama oder Salar de Hombre Muerto (Tab. 4).

Diese Faktoren können direkte Implikationen für die wirtschaftliche Gewinnung von Lithium haben (Kap. 1.2, S. 22). Darüber hinaus spielen die Thematik des Fachkräftemangels, die Einbeziehung der indigenen Bevölkerung, der Tourismus und Umweltschutz eine wichtige Rolle für die Entwicklung des Salar de Uyuni. Neben diesen genannten Faktoren sind zusätzlich die Betrachtung und Einschätzung der politischen Situation im Land sowie die Betrachtung des Geschäftsumfeldes für Investitionen in Bolivien unerlässlich (Tab. 23).

Aufgrund der genannten Aspekte (s. o.) ist Bolivien bisher kein kommerzieller Produzent von Lithium

bzw. Lithiumverbindungen. Es gibt jedoch seitens der bolivianischen Regierung ambitionierte Pläne einer vertikal integrierten Produktion am Salar de Uyuni. Diese sehen sogar eine Lithium-Ionen-Zellenproduktion im Land vor.

Im Jahr 2008 wurde die staatliche Bergbaugesellschaft COMBIBOL mit dem Projekt bzw. dessen Entwicklung betraut. Durch die Einrichtung einer eigenen Abteilung zur Gewinnung von Lithium und einem Budget von ca. 6 Mio. US\$ sollte ein Pilotprojekt gestartet werden. Eine kleine Pilotanlage wurde daraufhin im Jahr 2008 in Llipi Loma gebaut. Diese produzierte nach Industrial Minerals im Jahr 2016 aber nur sehr geringe Mengen an Lithiumkarbonat (INDUSTRIAL MINERALS 2017).

Bereits seit 2009 begleitet das Deutsche Unternehmen K-Utec Salt-Technologies, eine private Nachfolgegesellschaft des früheren DDR-Kali-Forschungsinstituts, COMIBOL bei den Planungen zu Uyuni. Im Jahr 2015 setzte sich K-Utec gegen Ercosplan aus Deutschland und Salt & Evaporation Plant (SEP) aus der Schweiz in einer internationalen Ausschreibung zur Planung einer Lithiumgewinnungsanlage im Salar de Uyuni durch. Das Unternehmen ist nun damit beauftragt, eine Anlage zu konzipieren, mit der pro Jahr bis zu 30.000 t LCE (ca. 5.650 t Li-Inh.) hergestellt werden können. Weiterhin wird die Firma die Ausschreibung für den Bau der Anlage betreuen. Die bolivianische Regierung will bis zu 600 Mio. US\$ in das Projekt investieren.

Tab. 23: Einschätzung des Geschäftsumfeldes (Indikatoren) der Länder Bolivien, Chile und Argentinien im Vergleich zu Australien, China und Kanada (Datenquelle: GTAI 2016a-f, EULER HERMES 2017).

Indikatoren	Bolivien	Chile	Argentinien	Australien	China	Kanada
Euler Hermes Country Risk 03/2017 [4–1]	4 (D)	2 (A)	4 (D)	1 (AA)	2 (B)	1 (AA)
Ease of Doing Business 2017 [Ranking von 190 Ländern]	149	57	116	13	78	22
Global Competitiveness Index 2016–2017 [Ranking von 138 Ländern]	105	33	104	22	28	15
Corruptive Perceptions Index 2016 [0–100/Ranking von 176 Ländern]	33/113	66/24	36/95	79/13	40/79	82/9

Aus Sicht der DERA spielt eine mögliche Förderung von Lithium in Bolivien aus den oben genannten Gründen für den Zeitraum bis 2025 nur im Angebotsszenario 2 (high case) eine Rolle. Hierbei wird von einem potenziellen Förderbeginn im Jahr 2022 ausgegangen (Kap. 2.5.6). Die mögliche Fördermenge wird mit 3.000 t Li-Inh. (ca. 16.000 t LCE) angesetzt.

2.5.4 Zukünftiges Angebot

Die Abschätzung des künftigen Angebots basiert auf geplanten Betriebserweiterungen und Bergwerksprojekten, deren Jahresförderkapazitäten und dem geplanten Produktionsbeginn. Bei den Daten der Kapazitäten aus neuen Bergbauprojekten und Betriebserweiterungen handelt es sich um Planzahlen der Bergbau- und Explorationsunternehmen. Im Rahmen dieser Studie werden Angebotsszenarien für Lithium bis zum Jahr **2025** erstellt.

Betriebsaufnahme nach 2015/ Betriebserweiterungen

Informationen zu geplanten Betriebserweiterungen liegen aktuell von sechs Firmen vor. Diese sind für die Angebotsszenarien bis 2025 von erheblicher Relevanz.

Talison Lithium: Das australische Unternehmen Talison Lithium plant laut Joint-Venture-Partner Tianqi die Kapazität des Bergwerkes Greenbushes (Abb. 56) von aktuell ca. 80.000 t LCE (ca. 15.000 t Li-Inh.) auf rund 160.000 t LCE (ca. 30.000 t Li-Inh.) zu erhöhen (ALBEMARLE 2017a). Diese Erweiterung um **15.000 t Li-Inh.** soll Mitte 2019 die Produktion aufnehmen. Da Greenbushes ein Joint Venture zwischen Albemarle und Tianqi Lithium darstellt, wirkt sich diese Erweiterung auch auf die Gesamtkapazität von Albemarle aus. Nach Angaben von INDUSTRIAL MINERALS (2017) steht Albemarle ein Anteil von 50 % der neu geschaffenen Kapazität im Rahmen eines Off-Take-Vertrages zu.



Abb. 56: Tagebau der Firma Talison in Greenbushes, Australien (BGR 2013).

Albemarle: Als Joint-Venture-Partner von Greenbushes profitiert Albemarle von der geplanten Erweiterung in Australien (s. o.). Das zusätzliche Konzentrat aus Greenbushes soll vermutlich in der kürzlich erworbenen Firma Jiangxi Jiangli New Materials zu Lithiumkarbonat verarbeitet werden (INDUSTRIAL MINERALS 2017). Diese Anlage wurde für rund 145 Mio. US\$ im Januar 2017 zugekauft (ALBEMARLE 2017c).

Zusätzlich plant Albemarle eine Anlage zur Produktion von Lithiumkarbonat und Lithiumhydroxid aus Spodumen-Konzentraten mit einer Kapazität von rund 50.000 t LCE zu bauen. Wo diese Anlage gebaut wird, ist nach Firmenangaben (pers. Mitt. 05/2017) noch nicht entschieden bzw. offiziell kommuniziert. Laut ROSKILL (2016a) soll die Anlage auch nur bei entsprechender Nachfrage gebaut werden. Nach Angaben von INDUSTRIAL MINERALS (2017) könnte die Erweiterung in Greenbushes auch diese Anlage jedoch problemlos mit Konzentrat bedienen.

In Chile hat Albemarle Anfang 2016 ein MOU mit der chilenischen Regierung und der Chilean Economic Development Agency (CORFO) geschlossen (ALBEMARLE 2016). Im Rahmen dieses MOU darf Albemarle seine Lithiumförderquote erhöhen. Am 04.01.2017 wurde das MOU in einen Vertrag (Amended Lithium Production Rights Agreement) mit CORFO umgewandelt (Albemarle 2017b). Im Rahmen dieser Vereinbarungen darf Albemarle bis 2044 bis zu 80.000 t LCE (15.040 t Li-Inh.) aus den Vorkommen in Chile produzieren.

Aktuell produziert Albemarle in La Negra I etwa 24.000 t LCE/a (4.512 t Li-Inh.). Durch die Erweiterung von La Negra II soll diese auf 45.000 t LCE/a (8.460 t Li-Inh.) ab dem Jahr 2018 steigen. Diese Erweiterung um ca. **4.000 t Li-Inh.** spielt daher für das Angebot bis 2025 ebenfalls eine wichtige Rolle.

Albemarle hat sich zusätzlich entschieden in Chile eine dritte Lithiumkarbonatfabrik neben La Negra I und La Negra II mit einer Kapazität zwischen 20.000 und 24.000 t LCE/a (**3.760–4.500 t Li-Inh.**) und 5.000 t Lithiumhydroxid/a (**825 t Li-Inh.**) zu errichten (Albemarle 2017d). Nach INDUSTRIAL MINERALS (2017) soll diese Anlage ab 2021/22 betriebsbereit sein. Diese spielt daher für das Angebot bis 2025 eine wichtige Rolle.

Nach Angaben des US amerikanischen Unternehmens (pers. Mitt. 05/2017) soll die Gesamtkapazität von Albemarle von aktuell rund 29.000 t LCE/a (5.452 t Li-Inh.) innerhalb von fünf Jahren auf über 165.000 t LCE (31.020 t Li-Inh.) ansteigen. Dies schließt Chile, Australien und andere Quellen mit ein. Die hier genannten Erweiterungspläne des Unternehmens stehen in engem Zusammenhang mit den chilenischen Wirtschaftsförderprogramm „Invest Chile“ (Kap. 2.5.2, S. 94).

SQM: Das chilenische Unternehmen SQM befindet sich in direkter Nachbarschaft zu Albemarle im Salar de Atacama. Nach Angaben von CORFO (pers. Mitt. 05/2017) ist das Verhältnis zwischen dem Unternehmen und der staatlichen Behörde aktuell, aber auch historisch betrachtet relativ schwierig. Neben dem Vorwurf der Marktmanipulation (2014) und der Korruption (2015) stehen Verstöße gegen Umweltauflagen und gegen Compliance-Regulierungen im Raum. Eine Erhöhung der Förderquoten in Chile ist für das auf Pottasche spezialisierte Unternehmen daher unwahrscheinlich. Dies erklärt auch, warum sich SQM in Argentinien an dem Projekt Cauchari-Olaroz mit einem Anteil von 50 % beteiligt hat.

Das dortige Projekt der Firma Lithium Americas wird in zwei Stufen mit Kapazitäten von je 25.000 t LCE (4.700 t Li-Inh.) realisiert (s. u.). Die erste Ausbaustufe soll ab Mitte 2017 gebaut werden und Mitte 2019 in Produktion gehen (LITHIUM AMERICAS 2017a). Angaben zur zeitlichen Umsetzung von Ausbaustufe zwei liegen nicht vor.

Laut Unternehmensangaben soll die Kapazität in Chile von aktuell 48.000 t LCE/a (9.024 t Li-Inh.) um 15.000 t LCE (**2.820 t Li-Inh.**) auf insgesamt 63.000 t LCE (11.844 t Li-Inh.) im Jahr 2018 steigen. Die Lithiumhydroxidkapazität soll auf 13.000 t (2.145 t Li-Inh.) steigen (SQM 2017).

Durch das Joint Venture (50:50) mit Lithium Americas könnte SQM in Argentinien bis zu 12.500 t LCE/a (2.350 t Li-Inh./a) ab 2019 produzieren. Sollte die zweite Ausbaustufe umgesetzt werden, könnte der Anteil von SQM an der Gesamtproduktion von Cauchari-Olaroz (9.400 t Li-Inh.) auf 4.700 t Li-Inh/a steigen.

Orocobre: Das Unternehmen Orocobre hat im Dezember 2016 die Erweiterung seiner Anlage in Olaroz von 17.500 t LCE/a (ca. 3.290 t Li-Inh.) auf

35.000 t LCE (6.580 t Li-Inh.) angekündigt (OROCOBRE 2016). Diese Erweiterung um **3.290 t Li-Inh.** soll Ende 2018 bzw. Anfang 2019 in Betrieb gehen, falls die Entscheidung zur Umsetzung (Mitte 2017) getroffen wird. Die Kosten für diese Erweiterung liegen bei knapp 200 Mio. US\$. Darüber hinaus plant das Unternehmen, eine Anlage zur Herstellung von Lithiumhydroxid in Japan zu errichten. Vor dieser geplanten Erweiterung muss Orocobre jedoch die Kapazität von Phase eins (17.500 t LCE, 3.290 t Li-Inh.) erreichen.

Mibra: Das Unternehmen AMG betreibt in Brasilien das Bergwerk Mibra (AMG Mineracao), welches die Firma 1978 erworben hat. In Mibra wird seit etwa 1945 Tantal und untergeordnet Zinn abgebaut. Das Unternehmen AMG plant nun, Spodumen-Konzentrate aus bestehenden Tailings zu gewinnen und diese zu vermarkten. Bereits im Jahr 2002 hat das Unternehmen mit den Planungen zur Umsetzung begonnen. Seit 2010 wird eine entsprechende Pilotanlage betrieben.

Das Projekt soll in zwei Phasen umgesetzt werden. In Phase eins sollen ab Ende 2018 bis zu 90.000 t Konzentrat pro Jahr hergestellt werden.

Dies entspricht in etwa **2.500 t Li-Inh.** Die Kosten hierfür liegen bei rund 50 Mio. US\$. Eine mögliche Erweiterung auf 140.000 t Konzentrat (3.900 t Li-Inh.) wird ebenfalls in Betracht gezogen. In Phase zwei soll eine Anlage zur Produktion von bis zu 20.000 t LCE/a gebaut werden. Die Ressourcen liegen nach Unternehmensangaben bei rund 379.600 t LCE (71.360 t Li-Inh.) (AMG 2016).

Bikita: Bikita Minerals erhöht im Jahr 2017 seine Output-Kapazität an Petalit-Konzentrat um über 80 % und wird ab der zweiten Hälfte des Jahres auf ein Jahresproduktionsvolumen von 80.000 bis 85.000 t Konzentrat (12.000–12.700 t LCE) kommen. Diese Erweiterung entspricht in etwa **1.200 – 1.350 t Li-Inh.**

Aus den Betriebserweiterungen bestehender Bergwerke könnten dem Markt im Jahr 2025, je nach Ausbaustufe, bis zu **38.665 t Li-Inh.** zusätzlich zur Verfügung stehen. Je nach Angebotszenario werden diese Erweiterungspläne der einzelnen Unternehmen vollständig oder anteilig berücksichtigt (Tab. 25).



Abb. 57: Bikita-Bergwerk, Simbabwe (mit frdl. Genehmigung: Bikita Minerals 2016).

Tab. 24: Übersicht der aktuell wichtigsten Lithium-Projekte im Prefeasibility- und Feasibility-Status bzw. Bergwerke im Bau und in der Wiederaufnahme.

Projektname	Land	Firma	Status	Geplante zusätzliche Jahreskapazität [t Li-Inh.] (Jahr)	Geplanter Produktionsbeginn	Reserven/ Ressourcen [Mio. t Li-Inh.]
Green-bushes ¹	Australien	Talison Lithium	Erweiterung	15.000	2019	0,8/1,4
Salar de Atacama	Chile	Albemarle	Erweiterung	4.000–9.350 ²	2018 (2021/2022)	k. A.
Salar de Atacama	Chile	SQM	Erweiterung	2.820	2018	k. A.
Salar de Olaroz	Argentinien	Orocobre	Erweiterung	6.270 (3.290) ³	2018/2019	k. A.
Mibra	Brasilien	AMG Lithium	Erweiterung	2.500–3.900 ⁴	2018	k. A./0,072
Bikita	Simbabwe	Bikita Minerals	Erweiterung	1.200–1.350	2017	k. A.
Mt. Marion	Australien	Neometals	Im Bau	9.400	2016	k. A./0,5
Mt. Cattlin	Australien	Galaxy Resources	Im Bau	3.700–4450	2016	k. A./0,08
Bald Hill ⁵	Australien	Tawana Resources	Im Bau (Wiederaufnahme)	3.200–4.300	2018	k. A./0,07
Pilgangoora	Australien	Pilbara Minerals	DFS	8.750 (17.500)	2019	0,41/0,91
Whabouchi	Kanada	Nemaska Lithium	DFS	5.930	2017/2018	0,19/0,24
Salar de Rincon ⁶	Argentinien	Enirgi Group	DFS	9.400	2019	0,23/1,41
Sal de Vida	Argentinien	Galaxy Resources	DFS ⁷	4.700	2020 ⁷	0,21/1,36
Pilgangoora	Australien	Altura Mining	FS	6.125	Q3/2017	0,1/0,19
Cauchari-Olaroz ⁸	Argentinien	Lithium Americas	FS	4.700–9.400	2019	0,28/2,21
Keliber Oy	Finnland	Keliber	FS	1.200 ¹²	Q4/2019	0,03/0,04
Cuenca	Argentinien	Eramet	PFS	3.760	2019	k. A./1,6
Rose	Kanada	Critical Elements	PFS	6.500	2019	k. A./0,16
Sonora	Mexiko	Bacanora Minerals	PFS	3.200–6.400 ⁹	2020/2021	0,39/1,34
Cínovec	Tschechien	European Metals	PFS	3.900	2022 ¹²	k. A./1,29
Jadar	Serbien	Rio Tinto	PFS	k. A.	2025	k. A./1,17
3Q	Argentinien	Neolithium	Geplant	k. A.	k. A.	k. A./0,39
Separation Rapids	Kanada	Avalon Advanced Materials	Geplant	k. A.	k. A.	k. A/0,06
James Bay	Kanada	Galaxy Resources	Geplant	k. A.	k. A.	k. A./0,13
Clayton Valley	USA	Pure Energy Minerals	Geplant	k. A.	k. A.	k. A./0,15
Wolfsberg	Österreich	European Lithium	Geplant	k. A.	2020	k. A./0,07

Projektname	Land	Firma	Status	Geplante zusätzliche Jahreskapazität [t Li-Inh.] (Jahr)	Geplanter Produktionsbeginn	Reserven/ Ressourcen [Mio. t Li-Inh.]
Zinnwald ¹⁰	Deutschland	Deutsche Lithium	Geplant	k. A.	k. A.	k. A./0,13
Sadisdorf	Deutschland	Tin International ¹¹	Geplant	k. A.	k. A.	k. A./k. A.

¹ JV zwischen Sichuan Tianqi Lithium Industries Inc. und Albemarle Co., ² Erweiterung La Negra um ca. 4.000 t Li-Inh. bis 2018; zusätzliche Kapazität von rund 5.340 t Li-Inh. ab etwa 2021/2022, ³ Entscheidung zur Umsetzung in 2017; beinhaltet das Erreichen der Kapazität von Stufe 1 (3.290 t Li-Inh.) und die Ausbaustufe 2 (3.290 t Li-Inh.), ⁴ mögliche Ausbaustufe, ⁵ JV zwischen Alliance Mineral Assets Ltd. (AMAL) und Tawana Resources NL, ⁶ das Projekt gehört ADY Resources Ltd., welches ein Tochterunternehmen der Enirgi Group Co ist; die Enirgi Group Co ist eine 100%ige Tochter der Sentinent Gruppe, ⁷ DFS aus dem Jahr 2013, ⁸ JV zwischen Lithium Americas und SQM, ⁹ Ausbaustufe 1 = 3.200 t Li-Inh., Ausbaustufe 2 = 6.400 t Li-Inh., ¹⁰ JV zwischen der Solarworld AG (Deutsche Lithium/Solarworld Solicium GmbH) und Bacanora Minerals, ¹¹ Tochterfirma der Deutschen Rohstoff AG, ¹² geschätzt

Bergwerke in Bau/Wiederaufnahme

Es befinden sich momentan mit Mt. Marion (Australien) und Mt. Cattlin (Australien) zwei Bergwerke in der Betriebsaufnahme, das Bergwerk Bald Hill (Australien) ist in der Wiederaufnahme.

Mt. Marion: Das Unternehmen Neometals mit Sitz in Perth, Australien, entwickelt über Anteile an dem Unternehmen Reed Industrial Minerals Pty. Ltd. (13,8 %) zusammen mit Ganfeng Lithium Co. Ltd. und Mineral Resources Ltd. das Projekt Mt. Marion. Im April 2017 hat das Unternehmen

jedoch seine Aktionäre darüber informiert, dass es seine Anteile an Mt. Marion für ca. 96 Mio. US\$ verkaufen wird.

Den beiden Joint-Venture-Partnern Minerals Resources Ltd. (via Process Minerals Int. Pty. Ltd.) und Ganfeng Lithium Co. Ltd. (via GFL International Co. Ltd.) steht ein Vorkaufsrecht der Anteile von Neometals zu (NEOMETALS 2017a). Diese haben von ihren Rechten nach aktuellem Stand jedoch bisher keinen Gebrauch gemacht. Mt. Marion befindet sich rund 40 km südwestlich von Kalgoorlie (W. A.). Der Bau der Anlagen hat Ende 2015



Abb. 58: Pegmatitabbau Mt. Marion (mit frdl. Genehmigung: Neometals 2017).



Abb. 59: Pegmatitabbau Mt. Cattlin (mit frdl. Genehmigung: Galaxy Resources 2017).

begonnen und wurde Ende 2016 abgeschlossen. Im Moment wird die Produktion auf die Nennkapazität von rund 50.000 t LCE (**9.400 t Li-Inh.**) hochgefahren. Erste Spodumen-Konzentrate (15.000 t) wurden im Februar 2017 von Kwinana aus nach China exportiert (Neometals 2017b). Bis Anfang Juli 2016 wurden bereits rund 80.000 t Konzentrat exportiert. Nach Firmenangaben (pers. Mitt. 06/2017) erfolgt am 22.06.2017 eine weitere Lieferung von etwa 55.000 t Konzentrat nach China.

Angaben zu den Reserven von Mt. Marion liegen nicht vor. Die Ressourcen (Indicated) liegen bei ca. 28,9 Mio. t Erz @ 1,35 % Li₂O (ca. 181.000 t Li-Inh.). Die Ressourcen (Inferred) liegen bei ca. 48,9 Mio. t Erz @ 1,37 % Li₂O (ca. 310.900 t Li-Inh.) (NEOMETALS 2017c).

Nach Angaben der DEUTSCHEN BANK (2016) hat Ganfeng für drei Jahre das Recht, 100 % der Produktion im Rahmen eines Off-Take-Vertrages zu erwerben. Nach diesen drei Jahren kann Ganfeng nur noch 49 % erwerben, falls die anderen JV-Partner Gebrauch von bestehenden Vorkaufrechten machen.

Mt. Cattlin: Das Bergwerk Mt. Cattlin gehört zu 100 % dem australischen Unternehmen Galaxy

Resources und liegt nördlich von Ravensthorpe (W. A.). Es war zwischen 2009 und 2013 in Betrieb und wurde dann aufgrund von Aufbereitungsproblemen und niedrigen Preisen vorübergehend stillgelegt (DEUTSCHE BANK 2016). Anfang 2016 wurde der Betrieb nach einer umfassenden Modernisierung und dem Neubau von Anlagen wieder aufgenommen. Aktuell wird die Produktion auf die Nennkapazität von 20.000 t LCE (3.760 t Li-Inh.) hochgefahren.

Für das Finanzjahr 2017 ist eine Produktion von rund 1,6 Mio. t Erz (160.000 t Spodumen-Konzentrat) geplant. Dies entspricht, je nach Li₂O-Gehalt, in etwa **3.700 – 4.450 t Li-Inh./a**. Seit Januar 2017 wurden bereits drei Lieferungen von Esperance aus an Mitsubishi verschifft (Galaxy Resources 06/2017). Nach Angaben von INDUSTRIAL MINERALS (2017) läuft die Anlage aktuell mit einer Auslastung von rund 72 %.

Nach Unternehmensangaben wurden bereits Off-Take-Lieferverträge mit chinesischen Kunden für 120.000 t Konzentrat (5,5 % Li₂O) zu Preisen von rund 830 US\$/t abgeschlossen. Sollte das Unternehmen den Lithiumgehalt im Konzentrat erhöhen können, steigt der Konzentratpreis laut Vertrag auf 905 US\$/t (6 % Li₂O).

Angaben zu den Reserven von Mt. Cattlin liegen nicht vor. Die Ressourcen (Measured) liegen bei ca. 2,54 Mio. t Erz @ 1,20 % Li₂O (ca. 14.140 t Li-Inh.). Die Ressourcen (Indicated) liegen bei ca. 9,53 Mio. t Erz @ 1,06 % Li₂O (ca. 46.890 t Li-Inh.). Die Ressourcen (Inferred) liegen bei ca. 4,34 Mio. t Erz @ 1,07% Li₂O (ca. 21.560 t Li-Inh.) (GALAXY RESOURCES 2017).

Bald Hill: Das ehemalige Tantalbergwerk Bald Hill liegt etwa 50 km südlich von Kambalda und 340 km nördlich von Esperance (W. A.). Unter dem Besitz von Haddington Resources Ltd. hat Bald Hill zwischen 2001 und 2005 Tantal-Konzentrat produziert (< 500 t). Seit 2014 gehört Bald Hill der australischen Alliance Mineral Assets Ltd. (AMAL) mit Sitz in Singapur. Mit einem Anteil von 50 % ist Tawana Resources NL an dem Projekt beteiligt. Zwischen 2015 und 2016 wurden die ehemaligen Anlagen von AMAL zur Produktion von Tantal-Konzentraten überholt. Bei Probeläufen wurde festgestellt, dass sich auch ein hochwertiges Spodumen-Konzentrat herstellen lässt. Seit Ende 2015 ist das Bergwerk nicht in Betrieb und Tawana Resources NL hat 2016 die Anlagenplanungen für eine Gewinnung von Spodumen-Konzentraten übernommen.

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit AMAL muss Tawana min. 7,5 Mio. US\$ in die Exploration und weitere 12,5 Mio. US\$ in den Bau der Anlagen bis Ende 2017 investieren. Das Unternehmen rechnet damit, im ersten Quartal 2018 erste Spodumen-Konzentrate ausliefern zu können. Nach Angaben von Cannacord (2017) plant das Unternehmen eine Jahresproduktion von rund 120.000–160.000 t Spodumen-Konzentrat mit Li₂O-Gehalten von 6 %. Dies entspricht in etwa 17.000–23.000 t LCE (**3.200–4.300 t Li-Inh.**). Eine Feasibility-Studie soll Mitte 2017 vorliegen. In diesem Zeitraum sollen auch die Produktionsanlagen installiert werden.

Angaben zu den Reserven von Bald Hill liegen nicht vor. Im April 2017 gab das Unternehmen ein Ressourcenziel von ca. 30 bis 50 Mio. t Erz @ 0,9–1,4 % Li₂O an (TAWANA RESOURCES NL 04/2017). Im Juni 2017 veröffentlichte das Unternehmen Angaben zu den Ressourcen von Bald Hill. Die Ressourcen (Indicated + Inferred) liegen bei ca. 12,8 Mio. t Erz @ 1,18 % Li₂O (ca. 70.090 t Li-Inh.) (TAWANA RESOURCES NL 2017).

Durch Bergwerke im Bau bzw. wiedereröffnete Bergwerke könnten dem Markt im Jahr 2025, je nach Ausbaustufe, bis zu **18.150 t Li-Inh.** zusätzlich zur Verfügung stehen. Je nach Angebots-szenario werden diese Erweiterungspläne der einzelnen Unternehmen vollständig oder anteilig berücksichtigt (Tab. 25).

Bergbauprojekte bis 2025

Pilgangoora (Pilbara): Das Lithium-Tantal-Projekt Pilgangoora gehört zu 100 % dem Unternehmen Pilbara Minerals Ltd. mit Sitz in Australien. Das Projekt befindet sich etwa 120 km südlich von Port Hedland in Western Australia. Die Firma hat das Projekt im Jahr 2014 von Global Advanced Metals (GAM) erworben und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. Nach Angaben des Unternehmens handelt es sich bei dem Vorkommen um das zweitgrößte Spodumen-Tantal-Vorkommen der Welt (PILABARA MINERALS Ltd. 2017). Aufgrund seiner niedrigen Eisengehalte eignen sich die Konzentrate der Firma auch für technische Anwendungen (Keramik, Glaskeramik, Glas).

Unter voller Auslastung der ersten Ausbaustufe sollen ab 2019 pro Jahr etwa 314.000 t Konzentrat mit einem Li₂O-Gehalt von 6 % produziert werden. Dies entspricht in etwa **8.750 t Li-Inh.** In Ausbaustufe zwei soll die Produktion verdoppelt werden (17.500 t Li-Inh.). Neben Chemical-Grade-Konzentraten sollen auch Technical-Grade-Konzentrate sowie Tantal-Konzentrate produziert werden.

Das Unternehmen hat bereits jetzt Off-Take-Vereinbarungen mit chinesischen Firmen getroffen. Mit Ganfeng Lithium wurde ein Vertrag mit einer Laufzeit von zehn Jahren über die Lieferung von 160.000 tpa Konzentrat geschlossen. Es besteht die Option, diesen Vertrag um weitere zehn Jahre zu verlängern. Darüber hinaus hat Pilbara ein Off-Take-Vertrag mit General Lithium Co über die Lieferung von 140.000 tpa Konzentrate über einen Zeitraum von sechs Jahren geschlossen. Hier besteht die Option auf Verlängerung um weitere vier Jahre. Zusätzlich besteht eine Option, unprozessiertes Erz (1,9 Mio. tpa) an Shandong Ruifu Co Ltd. zu liefern. Diese Vereinbarung muss jedoch noch von den Behörden in China genehmigt werden und Shandong muss 10 Mio. US\$ als Vorauszahlung leisten.



Abb. 60: Explorationsbohrung Pilgangoora (mit frdl. Genehmigung: Pilbara Minerals 2017).

Die Gesamtreserven des Projekts betragen ca. 69,8 Mio. t Erz @ 1,26 % Li_2O (ca. 408.100 t Li-Inh.). Die Ressourcen liegen bei ca. 156 Mio. t Erz @ 1,25 % Li_2O (ca. 904.800 t Li-Inh.) (PILABARA MINERALS Ltd. 2017). Die Förderung soll im dritten Quartal 2017 beginnen. Anfang 2018 sollen dann die ersten Konzentrate produziert werden. Nach ROSKILL (2017) wurde die letzte ausstehende Genehmigung des Department of Mines and Petroleum im Mai 2017 erteilt.

Whabouchi: Das Unternehmen Nemaska Lithium mit Sitz in Quebec, Kanada, entwickelt seit 2009 das Whabouchi-Projekt in der Region Eeyou Istchee James Bay, etwa 300 km nördlich von Chibougamau. Der kommerzielle Abbau von Spodumen und die Weiterverarbeitung zu Lithiumchemikalien sollen im zweiten Halbjahr 2018 beginnen. Bereits Anfang 2017 hat das Unternehmen erste Produktproben an Johnson Matthey Battery Materials ausgeliefert.

Laut einer DFS aus dem Jahr 2016 sollen über einen Zeitraum von 26 Jahren pro Jahr etwa 213.000 t Konzentrat mit einem Li_2O -Gehalt von 6 % produziert werden (Phase 1).

Dies entspricht in etwa **5.930 t Li-Inh.** Per LKW soll das Konzentrat nach Chibougamau transportiert werden. Der Weitertransport in die Verarbeitungsanlage nach Shawinigan erfolgt per Zug. In Shawinigan sollen pro Jahr etwa 27.600 t Lithiumhydroxid und 3.260 t Lithiumkarbonat in einem firmenspezifischen Prozess hergestellt werden (siehe Kap. 1.2, S. 22).

Auch Nemaska Lithium hat bereits Off-Take-Verträge (Johnson Matthey Battery Materials, FMC) geschlossen, welche etwa 50 % der geplanten Jahresproduktion abdecken (NEMASKA LITHIUM 2017). Das Volumen des Off-Take-Vertrages mit FMC liegt nach INDUSTRIAL MINERALS (2017) bei ca. 8.000 t LCE.

Die Reserven des Projekts betragen ca. 20,0 Mio. t Erz @ 1,53 % Li_2O (ca. 141.985 t Li-Inh.) sowie 7,3 Mio. t Erz @ 1,28 % Li_2O (ca. 43.340 t Li-Inh.) (NEMASKA LITHIUM 05/2017). Die Ressourcen (Measured + Indicated) liegen bei ca. 28 Mio. t Erz @ 1,57 % Li_2O (ca. 204.000 t Li-Inh.). Die Ressourcen (Inferred) liegen bei ca. 4,7 Mio. t Erz @ 1,51 % Li_2O (ca. 33.0006 t Li-Inh.) (NEMASKA LITHIUM 2015).

Salar de Rincon: Das Projekt gehört zu 100 % dem Unternehmen ADY Resources Ltd., welches ein Tochterunternehmen der Enirgi Group Co. ist. Die Enirgi Group Co. ist ihrerseits eine 100%ige Tochter der Sentinent-Gruppe.

Der Salar de Rincon (Tab. 4) bzw. das Projekt liegt in der Provinz Salta südlich der Produktionsanlagen der Firma Orocobre. Bereits im Jahr 2014 hat das Unternehmen zu Testzwecken eine Anlage zur Gewinnung von Lithium in Sydney gebaut. In dieser Demonstrationsanlage wurde erfolgreich Lithiumkarbonat aus unkonzentrierter Sole aus dem Salar de Rincon in einem unternehmensspezifischen Prozess erfolgreich gewonnen. Dieser Prozess wurde zusammen mit ANSTO (Australian Nuclear Science and Technology Organisation) entwickelt. Die Pilotanlage wurde 2015 in Australien demontiert und im Salar de Rincon zu weiteren Testzwecken wieder aufgebaut (DEUTSCHE BANK 2016). Für diesen Extraktionsprozess werden nur Gas und Löschkalk benötigt. Dieser wird von ADY Resources in etwa 10 km Entfernung zum Projekt abgebaut bzw. hergestellt.

Im Juli 2016 hat das Unternehmen eine DFS veröffentlicht. Diese sieht die Produktion von ca. 50.000 t LCE/a (**9.400 t Li-Inh.**) aus unkonzentrierter Sole über einen Zeitraum von min. 25 Jahren vor. Die Kosten für eine entsprechende Anlage liegen laut DFS bei rund 0,7 Mrd. US\$.

Nach Angaben von INDUSTRIAL MINERALS (2017) plante die Enirgi Group den Bau der Anlage bereits für das Jahr 2015 und den Produktionsbeginn im Jahr 2017. Dieser Zeitplan wurde um etwa zwei Jahre verschoben, sodass mit einem Produktionsbeginn nicht vor 2019 gerechnet werden kann. INDUSTRIAL MINERALS (2017) bewertet den Investitionsbedarf als kritisch und geht eher von einer Anlage zur Produktion von 15.000 t LCE/a (2.820 t Li-Inh.) aus.

Die Gesamtreserven (Probable) des Projekts betragen ca. 1,2 Mio. t LCE (ca. 225.600 t Li-Inh.). Die Gesamtressourcen (Measured, Indicated) des Projekts liegen bei ca. 3,5 Mio. t LCE (ca. 658.000 t Li-Inh.). Die Gesamtressourcen (Inferred) des Projekts betragen etwa 4,8 Mio. t LCE (ca. 752.000 t Li-Inh.) (NASDAQ 2016).

Sal de Vida: Das Sal de Vida Projekt wurde 2012 von der Firma Galaxy Resources erworben und

befindet sich im Salar de Hombre Muerto (Argentinien). Es schließt sich östlich dem in Produktion befindlichen Vorkommen von FMC Co bzw. deren Tochterfirma Minera del Altiplano an. Im westlichen Bereich des Salars besitzt Galaxy Resources 100 % der Rechte zur Förderung von Sole.

Laut einer DFS aus dem Jahr 2013 bietet sich ein leicht modifizierter Produktionsprozess analog zu SQM oder Albemarle über Solarevaporation an. Das Vorkommen könnte pro Jahr bis zu 25.000 t LCE (**4.700 t Li-Inh.**) und 95.000 t Pottasche über einen Zeitraum von mehr als 45 Jahre produzieren (GALAXY RESOURCES 2017).

Aktuell ist geplant, die Arbeiten vor Ort Mitte des Jahres 2017 wieder aufzunehmen. Dabei sollen zwei 145 m tiefe Probebohrungen abgeteuft werden, um Sole für Tests zu gewinnen. Informationen zu einem möglichen Produktionsbeginn liegen nicht vor. Die Gesamtreserven (Proven, Probable) des Projekts betragen ca. 1,14 Mio. t LCE (ca. 214.600 t Li-Inh.). Die Gesamtressourcen (Measured, Indicated) des Projekts liegen bei ca. 4,053 Mio. t LCE (ca. 761.960 t Li-Inh.). Die Gesamtressourcen (Inferred) des Projekts betragen etwa 3,18 Mio. t LCE (ca. 597.780 t Li-Inh.) (GALAXY RESOURCES 2017).

Pilgangoora (Altura): Das Projekt gehört zu 100 % dem Unternehmen Altura Mining Ltd. und befindet sich in direkter Nachbarschaft zu Pilgangoora (Pilbara Minerals). Das Unternehmen hat das Projekt bereits 2001 erworben und entwickelt es seit 2009. Im Februar 2016 wurde eine DFS (Definite Feasibility Study) veröffentlicht.

Altura Mining hat seit April 2016 einen Off-Take-Vertrag mit dem chinesischen Unternehmen Lionergy Ltd. Diese Vereinbarung sieht die Lieferung von bis zu 100.000 t Konzentrat über einen Zeitraum von fünf Jahren vor. Im Oktober wurde zwischen beiden Unternehmen ein Letter of Intent (LOI) zur Projektfinanzierung geschlossen (ALTURA MINING Ltd. 2017). Darüber hinaus hat Altura Mining ein MOU (non-binding) mit dem chinesischen Unternehmen Optimum Nano abgeschlossen. Diese sieht die Lieferung von 100.000 bis 150.000 tpa Konzentrat über einen Zeitraum von 20 Jahren vor.

Die Förderung soll im dritten Quartal 2017 beginnen. Nach Angaben von INDUSTRIAL MINERALS (2016) liegen noch nicht alle notwendigen

Genehmigungen für den Abbau vor. Unter voller Auslastung (2018/2019) sollen pro Jahr etwa 220.000 t Konzentrat mit einem Li₂O-Gehalt von 6 % produziert werden. Dies entspricht in etwa **6.125 t Li-Inh.** Die Verschiffung der Konzentrate erfolgt von Port Hedland aus. Die Gesamtreserven des Projekts betragen ca. 20,3 Mio. t Erz @ 1,06 % Li₂O (ca. 99.850 t Li-Inh.). Die Ressourcen liegen bei ca. 39,2 Mio. t Erz @ 1,02 % Li₂O (ca. 185.530 t Li-Inh.) (ALTURA MINING Ltd. 2017).

Cauchari-Olaroz: Das Projekt Cauchari-Olaroz wurde als Joint Venture zwischen Lithium Americas (50 %) und SQM (50 %) entwickelt (s. o.). Das Projekt befindet sich im Salar de Olaroz und Salar de Cauchari in der Provinz Jujuy. Direkter Nachbar ist das Unternehmen Orocobre. Die Lithiumgewinnung soll nach dem Vorbild von SQM (Salar de Atacama) über den Prozess der Solarevaporation erfolgen.

Nach Angaben des Unternehmens liegen seit März 2017 sämtliche notwendigen Genehmigungen vor, um mit dem Bau der Anlagen und der Produktion zu beginnen. Geplant ist, das Projekt in zwei Schritten auf eine Kapazität von ca. 50.000 t LCE (9.400 t Li-Inh.) auszubauen. In einem ersten Schritt soll eine Kapazität von 25.000 t LCE (**4.700 t Li-Inh.**) erreicht werden. Die Kosten dafür belaufen sich auf etwa 0,5 Mrd. US\$.

Die Gesamtreserven (Proven, Probable) des Projekts betragen ca. 1,5 Mio. t LCE (ca. 282.000 t Li-Inh.). Die Gesamtressourcen (Measured, Indicated) des Projekts liegen bei ca. 11,75 Mio. t LCE (ca. 2,21 Mio. t Li-Inh.) (LITHIUM AMERICAS 2017b).

Im ersten Halbjahr 2017 soll der Bau der Anlagen beginnen. Die Abnahme der Produktionsanlagen sowie die erste Produktion sind für das Jahr 2019 geplant. Im Januar hat Lithium Americas mit Ganfeng Lithium einen Vertrag zur Weiterentwicklung des Projekts geschlossen (INDUSTRIAL MINERALS 2017). Angaben zur zeitlichen Umsetzung von Ausbaustufe zwei liegen aktuell nicht vor.

Keliber Oy: Das finnische Unternehmen Keliber besitzt in der Provinz Zentralostrobothnia mehrere Pegmatitvorkommen, für die es auch die Abbaulizenzen hält. Im November teilte das Unternehmen mit, dass es an einer DFS arbeitet und diese im zweiten Halbjahr 2017 veröffentlichen will (KELIBER

Oy 2016). Darüber hinaus plant das Unternehmen den Bau einer Anlage zur Produktion von Lithiumkarbonat in Finnland bis Ende 2019.

Die Produktion soll dann Anfang 2020 beginnen. Nach INDUSTRIAL MINERALS (2016) wurde der Termin für den Abbau der Pegmatite jedoch schon mehrmals verschoben, sodass auch dieser Zeitplan vermutlich nicht gehalten werden kann. Angaben zu möglichen Produktionsmengen liegen nicht vor. Die geschätzte Produktionsmenge im Jahr 2025 liegt daher bei rund 1.000 t Li-Inh.

Die Reserven (Proven and Probable) des Projekts betragen ca. 5,4 Mio. t Erz @ 1,09 % Li₂O (ca. 27.310 t Li-Inh.). Die Ressourcen (Measured + Inferred + Indicated) liegen bei ca. 6,54 Mio. t Erz @ 1,26 % Li₂O (ca. 38.240 t Li-Inh.) (KELIBER Oy 2016).

Cuenca: Das Projekt Cuenca (Centenario, Ratonnes) gehört seit 2013 dem französischen Bergbau- und Metallurgie-Unternehmen Eramet mit Sitz in Paris. Das Projekt selbst befindet sich in der Provinz Salta (Argentinien) etwa 250 km westlich der Stadt Salta. Im September 2016 wurde eine PFS vorgelegt und im Verlauf des Jahres 2017 soll eine DFS folgen. Zu diesem Zeitpunkt sollen auch alle noch ausstehenden Genehmigungen vorliegen. Nach Firmenangaben soll dann im Sommer 2017 mit dem Bau einer Anlage zur Herstellung von Lithiumkarbonat begonnen werden. Die Produktion soll dann in der zweiten Jahreshälfte 2019 über einen firmeneigenen Adsorptionsprozess beginnen (ERAMET 2016). Dabei soll Lithium über einen Zeitraum von 40 Jahren direkt aus unkonzentrierter Sole gewonnen werden (20.000 t LCE/a, **3.760 t Li-Inh./a**).

Die Gesamtressourcen (Measured, Indicated) des Projekts liegen bei ca. 2,79 Mio. t LCE (ca. 524.332 t Li-Inh.). Die Gesamtressourcen (Inferred) des Projekts betragen etwa 5,65 Mio. t LCE (ca. 1.061.636 t Li-Inh.) (ERAMET 2016).

Rose: Das Projekt Rose (Lithium-Tantal) der Firma Critical Elements befindet sich in Quebec zwischen den Projekten der Firmen Nemaska Lithium (Whabouchi) im Süden und Galaxy Resources (James Bay) im Nordwesten. Erste Bohrungen wurden bereits im Jahr 2009 durchgeführt. Eine Feasibility-Studie zu dem Projekt soll im ersten Halbjahr

2017 veröffentlicht werden. Hierzu arbeitet Critical Elements mit dem deutschen Unternehmen Helm AG zusammen. Im Jahr 2015 wurde zwischen beiden Unternehmen eine Vereinbarung zur Zusammenarbeit (Take or Pay Off-Take Agreement) getroffen. Im Rahmen dieser Vereinbarung hat die Helm AG das alleinige Recht, die Produkte von Critical Elements zu erwerben. Darüber hinaus hat die Helm AG ihre Hilfe bei der Erstellung einer DFS zugesichert. Es besteht weiterhin eine Option, um 25 % des gesamten Projekts zu erwerben (CRITICAL ELEMENTS 2016).

Nach Unternehmensangaben ist eine Entwicklung des Projekts in zwei Phasen geplant. In einer ersten Phase sollen ab etwa 2019 Spodumen-Konzentrate mit Lithiumgehalten von 7 % (Technical Grade) und 6 % (Chemical Grade) produziert werden. In Summe sollen so pro Jahr bis zu 225.000 t Konzentrat (ca. **6.500 t Li-Inh.**) sowie ein Tantal-Konzentrat hergestellt werden. Besonders hervorzuheben ist der niedrige Eisengehalt des Vorkommens. In Phase zwei soll bis 2022 eine Anlage zur Herstellung von Lithiumkarbonat mit einer Kapazität von rund 24.000 t LCE (ca. 4.500 t Li-Inh.) gebaut werden. Die Ressourcen liegen laut PEA aus dem Jahr 2011 (Indicated) bei ca. 26,5 Mio. t Erz @ 0,98 % Li₂O (ca. 120.500 t Li-Inh.). Die Ressourcen (Inferred) liegen bei ca. 10,7 Mio. t Erz @ 0,86 % Li₂O (ca. 42.700 t Li-Inh.) (CRITICAL ELEMENTS 2017).

Sonora: Das Projekt der Firma Bacanora Minerals befindet sich im Bundesstaat Sonora, Mexiko. Es gehört zu 100 % der Firma und wird seit etwa 2008 entwickelt. Im April 2016 wurde eine PFS (Prefeasibility Study) veröffentlicht. Eine DFS soll laut Unternehmen Ende 2017 vorliegen (BACANORA MINERALS 2017a). Bei dem Projekt handelt es sich um eine Tonlagerstätte (siehe Kap. 1.1, S. 17), für die Bacanora ein spezielles Aufbereitungsverfahren entwickelt hat. Die Produktion soll in zwei Stufen aufgenommen werden.

In Stufe eins sollen pro Jahr etwa 17.000 t LCE (**3.196 t Li-Inh.**) über einen Zeitraum von zwei Jahren produziert werden. In Stufe zwei soll die Kapazität um 17.000 t LCE (**3.196 t Li-Inh.**) erweitert werden. Neben Lithiumkarbonat sollen bis zu 50.000 t K₂SO₄/a produziert werden. Das Unternehmen selbst rechnet aktuell mit einem Produktionsbeginn 2020/21.

Im Mai 2017 hat Bacanora bekanntgegeben, dass es mit dem japanischen Konzern Hanwa eine Off-Take-Vereinbarung über die Abnahme von 70 bis 100 % der zukünftigen Produktion von Lithiumkarbonat der ersten Ausbaustufe des Projekts abgeschlossen hat. Darüber hinaus besteht die Option, auch die Produktionsmengen der zweiten Ausbaustufe abzunehmen. Zusätzlich hat sich Hanwa mit 10 % Anteil an Bacanora Minerals beteiligt. Hier besteht die Option, diesen Anteil auf 19,9 % zu erweitern (BACANORA MINERALS 2017a). Darüber hinaus ist Bacanora Minerals mit 50 % an Tin International und deren Projekt in Sadisdorf (s. u.) beteiligt.

Die Reserven (Probable) des Projekts betragen ca. 129 Mio. t Erz @ 3.015 ppm Li (ca. 388.935 t Li-Inh.). Die Ressourcen (Indicated + Inferred) liegen bei ca. 419 Mio. t Erz @ 3.200 ppm Li (ca. 1.340.800 t Li-Inh.) (BACANORA MINERALS 2017).

Cinovec: Das australische Unternehmen European Metals entwickelt seit 2012 das Lithium/Zinn-Projekt Cinovec, welches nach eigenen Angaben das größte Lithiumvorkommen in Europa darstellt. Das Projekt liegt 100 km nordwestlich von Prag an der deutsch-tschechischen Grenze (Zinnwald/Altenberg). Auf der deutschen Seite wird der gleiche Erzkörper von dem Unternehmen Deutsche Lithium (s. u.) entwickelt. Lithium kommt hier in dem Mineral Zinnwaldit vor (Kap. 1.1). Der gesamte Komplex stand seit etwa 1378 in unregelmäßigem Abbau (Zinn, Wolfram). Der gesamte Zinn-Distrikt Cinovec wurde 1992 stillgelegt, aufwendig saniert und rekultiviert. Die ehemaligen Stollenanlagen wurden bis zu einem bestimmten Level geflutet. Im Mai 2017 hat European Metals bekanntgegeben, dass es die Genehmigung zur Entwässerung der Stollen, eine weitere Explorationslizenz sowie eine „Preliminary Mining Permit“ erhalten hat (EUROPEAN METALS 2017c).

Aktuell befindet sich Cinovec im Prefeasibility-Status. Diese Studie setzt den Abbau von 1,7 Mio. t Erz zur Produktion von rund 20.800 t LCE (**3.910 t Li-Inh.**) voraus (EUROPEAN METALS 2017b). Das Unternehmen hat bisher keinen Produktionsbeginn genannt. Für das Angebotsszenario zwei (high case) wird das Projekt ab 2022 berücksichtigt. Die geschätzte Produktionsmenge im Jahr 2025 liegt bei ca. 2.000 t Li-Inh.

Über ein Zinnwaldit-Konzentrat und einen sich anschließenden Röst- und Laugungsprozess soll hochreines Lithiumkarbonat hergestellt werden. Nach Angaben des Unternehmens wurden die Unternehmen Dorfner-Anzaplan (Deutschland) und Nagrom (Australien) mit entsprechenden Testarbeiten beauftragt.

Die Ressourcen (Indicated) liegen nach Firmenangaben bei ca. 347,7 Mio. t Erz @ 0,5 % Li_2O (ca. 731.000.t Li-Inh.) (EUROPEAN METALS 2017a). Die Ressourcen (Inferred) liegen nach Firmenangaben bei ca. 308,8 Mio. t Erz @ 0,4 % Li_2O (ca. 556.000.t Li-Inh.). Neben Lithium enthält die Lagerstätte bis zu 91.900 t W-Inh. und 262.000 t Zn-Inh.

In den Angebotsszenarien eins und zwei wird zusätzlich für mögliche chinesische Projekte eine Produktionsmenge von **1.000 bis 1.500 t Li-Inh.** im Jahr 2025 angenommen.

Für Bolivien (Salar de Uyuni) wird für Angebots-szenario zwei (high case) eine Förderung von rund **3.000 t Li-Inh.** im Jahr 2025 angenommen.

Durch neue Projekte könnten dem Markt im Jahr 2025, je nach Ausbaustufe der einzelnen Projekte, bis zu **79.125 t Li-Inh.** zusätzlich zur Verfügung stehen. Je nach Angebotsszenario werden diese Erweiterungspläne der einzelnen Unternehmen vollständig oder anteilig berücksichtigt (Tab. 25).

Bergbauprojekte nach 2025

Neben den genannten geplanten Bergbauprojekten gibt es eine Vielzahl an Projekten, von denen aktuell nur wenige Informationen zur Verfügung stehen. Trotz ihrer frühen Entwicklungsphasen sollen ausgewählte Projekte näher beschrieben werden, da sie zum Angebot nach dem Jahr 2025 möglicherweise substantiell beitragen könnten.

Jadar: Das Projekt Jadar wurde 2004 durch Rio Tinto entdeckt und befindet sich aktuell im Pre-feasibility-Status. Das Unternehmen hat bisher über 70 Mio. US\$ in das Projekt investiert und plant weitere 90 Mio. US\$ zu investieren. Jadar befindet sich etwa 140 km von Belgrad entfernt im Jadarbecken. Lithium kommt in diesem Vorkommen in dem Mineral Jadarit, einem Natrium-Lithium-Bor-Silikat-Hydroxid, vor (Kap. 1.1). Neben Lithium spielt das Mineral auch für Bor eine wich-

tige Rolle (Ressourcen: 21 Mio. t B_2O_3). Jadar soll als Untertagebau über einen Zeitraum von min. 50 Jahren betrieben werden.

Aufgrund der Mineralogie des Jadarit entwickelt Rio Tinto einen völlig neuen Prozess zur Gewinnung von Lithium (Lithiumkarbonat) und Bor. Hierzu hat das Unternehmen eine Pilotanlage in Australien (Bundoorra Integrated Continuous Chemical Plant) errichtet (RIO TINTO 2017a). Erste Proben wurden zur Aufbereitung von Serbien nach Boron (Nevada, USA) geschickt und dort zu einem Konzentrat aufbereitet. Diese Konzentrate wurden dann in Australien in die errichtete Anlage zu Tests geschickt (RIO TINTO 2016).

Die Ressourcen des Projekts (Inferred + Indicated) liegen aktuell bei ca. 135,7 Mio. t Erz @ 1,86 % Li_2O (ca. 1,17 Mio. t Li-Inh.) (RIO TINTO 2017b). Nach Angaben des Unternehmens könnte Jadar zum Jahreswechsel 2023/2024 in Produktion gehen, wobei hier aufgrund des aktuell sehr frühen Explorationsstadiums von Verzögerungen ausgegangen werden kann. Angaben zu möglichen Produktionsmengen liegen nicht vor.

3Q: Das Projekt 3Q der Firma Neolithium befindet sich im Salar des tres Quebradas in der Provinz Catamarca (Argentinien). Obwohl sich das Projekt in einem noch sehr frühen Stadium befindet, wird es als eines der erfolgversprechendsten Projekte in Argentinien angesehen. Nach Angaben des Unternehmens sind die Explorationsbohrungen abgeschlossen und Ende des Jahres 2017 soll ein Preliminary Economic Assessment (PEA) veröffentlicht werden. Eine Feasibility-Studie (FS) ist für Ende 2018 geplant. Sämtliche Genehmigungen für den Bau einer Lithiumkarbonatanlage liegen vor. Das Projekt ist bis zur Erstellung der FS voll finanziert. Im Vergleich zu anderen Vorkommen zeichnet sich dieser Salar durch sehr niedrige Gehalte an Magnesium und Sulfat aus (Kap.1.1). Dies kann sich positiv auf die Prozesskosten auswirken (Kap. 2.3.1.2). Das Unternehmen hat noch keinen möglichen Produktionsbeginn genannt.

Die Gesamtressourcen (Measured, Indicated) des Projekts liegen bei ca. 714.242 t LCE (ca. 134.280 t Li-Inh.). Die Gesamtressourcen (Inferred) des Projekts betragen etwa 1.339.546 t LCE (ca. 251.835 t Li-Inh.) (NEOLITHIUM 2017).

Separation Rapids: Das Projekt Separation Rapids des Unternehmens Avalon Advanced Materials Inc. befindet sich etwa 70 km nördlich von Kenora im Bundesstaat Ontario. Das Projekt wurde bereits 1996 erworben und gehört zu 100 % dem Unternehmen. Im Jahr 2000 wurde eine Pre-feasibility-Studie zur Produktion von Petalit-Konzentraten für die Glasindustrie erstellt. Im Jahr 2014 wurde die Exploration in Separation Rapids wieder aufgenommen, da sich einige internationale Glashersteller dafür interessiert hatten. Ein Preliminary Economic Assessment zur Herstellung von Lithiumhydroxid wurde 2016 erstellt. Für den Zeitraum 2017 bis 2018 ist die Konstruktion einer Demonstrationsanlage geplant. Eine Feasibility-Studie soll im Jahr 2020 folgen. Eine Produktion wird frühestens für das Jahr 2021 angenommen. Das Unternehmen plant die Produktion von Petalit-Konzentraten für die Glasindustrie. Darüber hinaus gibt es Überlegungen, Lithiumhydroxid und/oder Lithiumkarbonat mittels des L-Max™-Verfahrens der Firma Lepidico in einer möglichen Anlage in Kenora (Kanada) zu produzieren. Als Beiprodukte kommen Rubidium, Tantal oder Cäsium in Frage (AVALON ADVANCED MATERIALS Inc. 2017a).

Die Ressourcen (Measured + Inferred) liegen bei ca. 8 Mio. t Erz @ 1,29 % Li₂O (ca. 47.900 t Li-Inh.). Die Ressourcen (Indicated) liegen bei ca. 1,63 Mio. t Erz @ 1,42 % Li₂O (ca. 10.800 t Li-Inh.) (AVALON ADVANCED MATERIALS Inc. 2017b). Die Ressourcen würden den Abbau von rund 1 Mio. t Erz über einen Zeitraum von zehn Jahren ermöglichen.

James Bay: Das Projekt James Bay des Unternehmens Galaxy Resources befindet sich in Quebec in Nachbarschaft zu den Projekten Rose (Critical Elements) und Whabouchi (Nemaska Lithium). Potenziell könnte dies bei erfolgreicher Umsetzung zu einem späteren Zeitpunkt zu Synergien führen. Nach Angaben des Unternehmens wird die Exploration an dem Projekt Mitte 2017 weitergeführt. Eine DFS ist für das Folgejahr geplant. Hierbei kann das Unternehmen auf seine Erfahrungen aus dem Projekt Mt. Cattlin zurückgreifen. Nach Firmenangaben (pers. Mitt.) werden aktuell Proben von James Bay in Australien (Mt. Cattlin) gestestet. Die Ressourcen (Indicated) liegen nach Firmenangaben bei ca. 11,8 Mio. t Erz @ 1,30 % Li₂O (ca. 70.890 t Li-Inh.) (GALAXY RESOURCES 2017). Die Ressourcen (Inferred) liegen nach Firmenan-

gaben bei ca. 10,5 Mio. t Erz @ 1,20 % Li₂O (ca. 58.300 t Li-Inh.).

Clayton Valley: Das Projekt der Firma Pure Energy Minerals befindet sich im Clayton Valley (Esmeralda County, Nevada) in direkter Nachbarschaft zur Silver-Peak-Anlage der Firma Albemarle Co. Im Mai 2017 hat das Unternehmen bekanntgegeben, dass es sämtliche Lizenzen in Clayton Valley von dem Unternehmen Lithium-X erworben hat (PURE ENERGY MINERALS 2017a). Somit hält Pure Energy Minerals nun alle Explorationslizenzen nördlich und südlich von Albemarle. Für weitere Lizenzgebiete im Osten (Cypress Development Corp.) hat Pure Energy Minerals eine Option. Das Unternehmen plant Lithium bzw. Lithiumverbindungen direkt aus einer unkonzentrierten Sole zu gewinnen (siehe Kap.1.2, S. 22). Der Prozess der Solvent-Extraktion über eine Bateman Pulsed Column wurde von Tenova Advanced Technologies entwickelt und soll bei dem Projekt zur Anwendung kommen. Angaben zu Produktionsmengen und Produktionsbeginn liegen seitens des Unternehmens nicht vor. Die Gesamtressourcen (Inferred) des Projekts betragen aktuell etwa 816.000 t LCE (ca. 150.400 t Li-Inh.) (PURE ENERGY MINERALS 2017b).

Wolfsberg: Wolfsberg ist ein Lithiumprojekt in Österreich, etwa 20 km östlich von Wolfsberg und 270 km südlich von Wien. Es gehört zu 100 % dem Unternehmen European Lithium und befindet sich im Prefeasibility-Status. Diese Studie wurde noch vom Vorbesitzer (Minerex, GSM) erstellt und muss verifiziert werden. Die Ressourcen des Projekts (Measured) liegen aktuell bei ca. 2,86 Mio. t Erz @ 1,28 % Li₂O (ca. 16.990 t Li-Inh.). Die Ressourcen des Projekts (Indicated) liegen bei ca. 3,44 Mio. t Erz @ 1,08 % Li₂O (ca. 17.250 t Li-Inh.) (EUROPEAN LITHIUM 2017). Die Ressourcen des Projekts (Inferred) liegen bei ca. 6,3 Mio. t Erz @ 1,17 % Li₂O (ca. 34.400 t Li-Inh.). Nach Angaben des Unternehmens könnte der Bau der Anlagen in Wolfsberg 2019 beginnen. Ende 2020 könnte dann mit dem Abbau begonnen werden. Angaben zu möglichen Produktionsmengen liegen nicht vor.

Zinnwald: Das Zinnwald-Projekt ist das deutsche Pendant zu dem tschechischen Projekt Cinovec der Firma European Metals. Es wird von der Deutsche Lithium GmbH, einer Tochter der deutschen Solarworld Solicium GmbH, ihrerseits Tochterunternehmen der Solarworld AG, entwickelt. Im

Februar hat Bacanora Minerals Ltd. für 5 Mio. € einen Anteil von 50 % an dem Projekt erworben (**Bacanora Minerals 2017b**). Die übrigen 50 % werden von Solarworld AG gehalten.

Inwieweit sich die Insolvenz von Solarworld auf das Projekt auswirkt, ist aktuell nicht absehbar. Theoretisch hat Bacanora Minerals jedoch die Vertragsoption, das Projekt innerhalb von zwei Jahren für 30 Mio. € vollständig zu übernehmen. Darüber hinaus hat sich Bacanora dazu verpflichtet, sämtliche Explorations- und Entwicklungskosten zur Erstellung einer Feasibility-Studie (5 Mio. €) zu übernehmen. Die Ressourcen (Measured) liegen nach Angaben von BACANORA MINERALS LTD. (2017b) bei ca. 200.300 t LCE (ca. 37.650.t Li-Inh.). Die Ressourcen (Indicated) liegen bei ca. 311.400 t LCE (58.550.t Li-Inh.). Die Ressourcen (Inferred) liegen nach Firmenangaben bei ca. 195.000 t LCE (ca. 36.560.t Li-Inh.). Angaben zu möglichen Produktionsmengen oder einem Produktionsbeginn liegen nicht vor.

Sadisdorf: Das Zinnprojekt Sadisdorf der Tin International, einem Tochterunternehmen der Deutschen Rohstoff AG (61,5 % Anteil), liegt etwa 15 km nordwestlich von Altenberg in einem historisch bedeutenden Zinnlagerstättendistrikt.

Das Unternehmen plant neben seiner Zinnressource die Identifikation einer mit dem Vorkommen assoziierten Lithiumvererzung in Form des Minerals Zinnwaldit (Kap. 1.1). Ähnliche Projekte werden von der Deutschen Lithium (Zinnwald, s. o.) und European Metals (Cinovec, s. o.) in der gleichen Region entwickelt. Die Erweiterung von

Sadisdorf um eine Lithiumressource kann nach Angaben von Tin International die Wirtschaftlichkeit des Projekts signifikant erhöhen (DEUTSCHE ROHSTOFF Ag 2017). Bezogen auf Lithium befindet sich das Projekt in einer sehr frühen Explorationsphase. Im Mai 2017 hat das Unternehmen ein Joint Venture mit dem australischen Unternehmen Lithium Australia geschlossen. Im Rahmen dieses Joint Ventures kann Lithium Australia bis zu 15 % Anteil am Joint Venture durch Explorationsstätigkeiten in Sadisdorf im Wert von 750.000 € oder einer entsprechenden Barzahlung an Tin International bis zum 30.06.2018 erwerben. Durch zusätzliche Investitionen in die Exploration von Sadisdorf bis Mai 2020 (1,25 Mio. €) kann Lithium Australia darüber hinaus seinen Joint-Venture-Anteil auf insgesamt 50 % erhöhen (LITHIUM AUSTRALIA 2017b). Bis 2020 wird Lithium Australia das Joint Venture leiten und Tin International wird im Gegenzug administrative sowie technische Unterstützung liefern. Primäres Ziel des Joint Ventures ist es, die bekannte Zinnressource zu erhöhen und eine zusätzliche Lithiumressource auszuweisen.

Nach Angaben von Lithium Australia enthält der Erzkörper in Sadisdorf bis zu 15 % Zinnwaldit. Unter Annahme der JORC-konformen Ressource von 3,36 Mio. Erz wären das ca. 504.000 t Zinnwaldit. Bei einem theoretischen Lithiumgehalt von 1,5 % des Minerals entspricht das lediglich 7.500 t Li-Inh. Die Gewinnung von Lithium aus dem Mineral Zinnwaldit kann z. B. über den Sileach™-Prozess der Firma Lithium Australia erfolgen (Kap.1.2, S. 22). Ein an der TU Freiberg entwickeltes Verfahren zur Gewinnung von Lithiumkarbonat aus Zinnwaldit könnte sich ebenfalls eignen (Kap. 1.2, S. 22).

Tab. 25: Übersicht der zusätzlich möglichen Jahresförderkapazität für Lithium.

Status	Anzahl	Geplante Kapazität bis 2025 [t Li-Inh./Jahr]	Erwartete Kapazität 2025 (Szenario 1) [t Li-Inh./Jahr]	Erwartete Kapazität 2025 (Szenario 2) [t Li-Inh./Jahr]
Betriebserweiterungen	6	38.665	20.990	36.375
Im Bau/in Entwicklung	2	13.850	13.200	13.200
Wiederaufnahme	1	4.300	0	3.600
Projekte (PFS & FS) ¹	11	79.125 ²	44.411 ³	71.215 ²
Summe⁴	20	135.940	78.600	124.390
Erwartete Kapazität^{4,5}		95.160	55.020	87.070

¹ Beinhaltet mögliche Projekte in China (kumuliert) sowie ein Projekt in Bolivien, ² enthält 1.500 t Li-Inh. für mögliche Projekte in China sowie 3.000 t Li-Inh. für eine mögliche Produktion in Bolivien (Salar de Uyuni), ³ enthält 1.000 t Li-Inh. für Projekte in China, ⁴ Abweichung durch Rundung möglich, ⁵ erwartete Kapazität entspricht 70 % der geplanten Kapazität

Neben den beschriebenen Projekten gibt es weltweit eine Vielzahl weiterer Explorationsprojekte, die sich in teils sehr frühen Entwicklungsstadien befinden. Zu diesen dennoch interessanten Projekten gehören: Maricunga (CODELCO), Georgia Lake (Rock-Tech Lithium Inc.), Lithium Nevada (Lithium Americas Inc.), Salar de Los Angeles (Lithium-X, Aberdeen International), Pozuelos (LSC Lithium Co.), Mariana (International Lithium). Bei Lithium-haltigen Pegmatiten könnten neue Projekte in Kanada, Australien und Simbabwe interessante Ressourcen ausweisen.

2.5.5 Zukünftige Nachfrage

Basierend auf Angaben von ROSKILL (2016a) stehen Daten zur historischen Nachfrage für den Zeitraum 2000–2015 zur Verfügung. Das ermittelte jährliche Gesamtnachfragewachstum (CAGR) betrug in diesem Zeitraum durchschnittlich 7 %. Zwischen 2010 und 2015 stieg die Nachfrage um

etwa 7,8 % pro Jahr und lag somit über dem langjährigen Durchschnitt. Zwischen 2013 und 2015 nahm die Gesamtnachfrage um 5,8 % zu und lag damit deutlich unter dem langjährigen Mittel. Im Jahr 2015 betrug die Gesamtnachfrage, je nach Quelle, zwischen ca. 30.000 t Li-Inh. (SIGNUM BOX 2016) und ca. 36.400 t Li-Inh. (STORMCROW 2016) (Tab. 26).

In Tab. 26 und Abb. 61 sind die Nachfrageszenarien für den Zeitraum 2015–2025 nach unterschiedlichen Quellen vergleichend aufgeführt. Die Spannweite liegt dabei zwischen 46.200 t Li-Inh. und 116.300 t Li-Inh. (155 %).

Die unterschiedlichen Nachfrageszenarien der DERA sind detailliert in Tab. 27 aufgeführt. Datenbasis für diese Szenarien stellen Nachfragedaten und -prognosen aus ROSKILL (2016a) dar. Für die Anwendungsbereiche der wiederaufladbaren Batterien wurden DERA-interne Daten verwendet.

Tab. 26: Prognosen für den Zeitraum 2015–2025
(Datenquelle: ROSKILL 2016a, STORMCROW 2016, DEUTSCHE BANK 2016, SIGNUM BOX 2016, MACQUARIE 2016, DAKOTA MINERALS 2016, DERA 2017).

	Nachfrage 2015 (t Li-Inh.)	CAGR 2015–2025 (%)	Nachfrage 2025 (≈ t Li-Inh.) ¹
ROSKILL (2016a)	33.260	3,3–9,5	46.200–82.780
STORMCROW (2016)	36.400	8,1	79.400
DEUTSCHE BANK (2016)	34.570	10,3–12,9	92.250–116.300
SIGNUM BOX (2016)	30.000 ²	10,5 ²	64.800 ²
MACQUARIE (2016)	32.640	8,4 ³	48.970
DAKOTA MINERALS (2016)	31.960 ²	8,1–9,6 ²	65.750–75.150 ²
DERA (2017)	k. A.	7,3–12,8⁴	67.540–110.770

¹ Gerundet, ² abgeleitet, ³ angegebene Wachstumsrate entspricht dem Zeitraum 2015–2020, ⁴ Szenarien mit jährlichen Wachstumsraten von 7,3 %, 9,2 % und 12,8 %

Tab. 27: Nachfrageprognosen für den Zeitraum 2015–2025 (Datenquelle: DERA 2017).

DERA	CAGR 2015–2025 (%)	Nachfrage 2025 (t Li-Inh.) ¹
Szenario 1 ²	7,3	67.540
Szenario 2 ³	9,2	80.150
Szenario 3 ⁴	12,8	110.770

¹ Gerundet, ² Bedarf Automobilindustrie = 130 GWh (180 g Li-Inh. pro kWh), ³ Bedarf Automobilindustrie = 200 GWh (180 g Li-Inh. pro kWh), ⁴ Bedarf Automobilindustrie = 370 GWh (180 g Li-Inh. pro kWh)

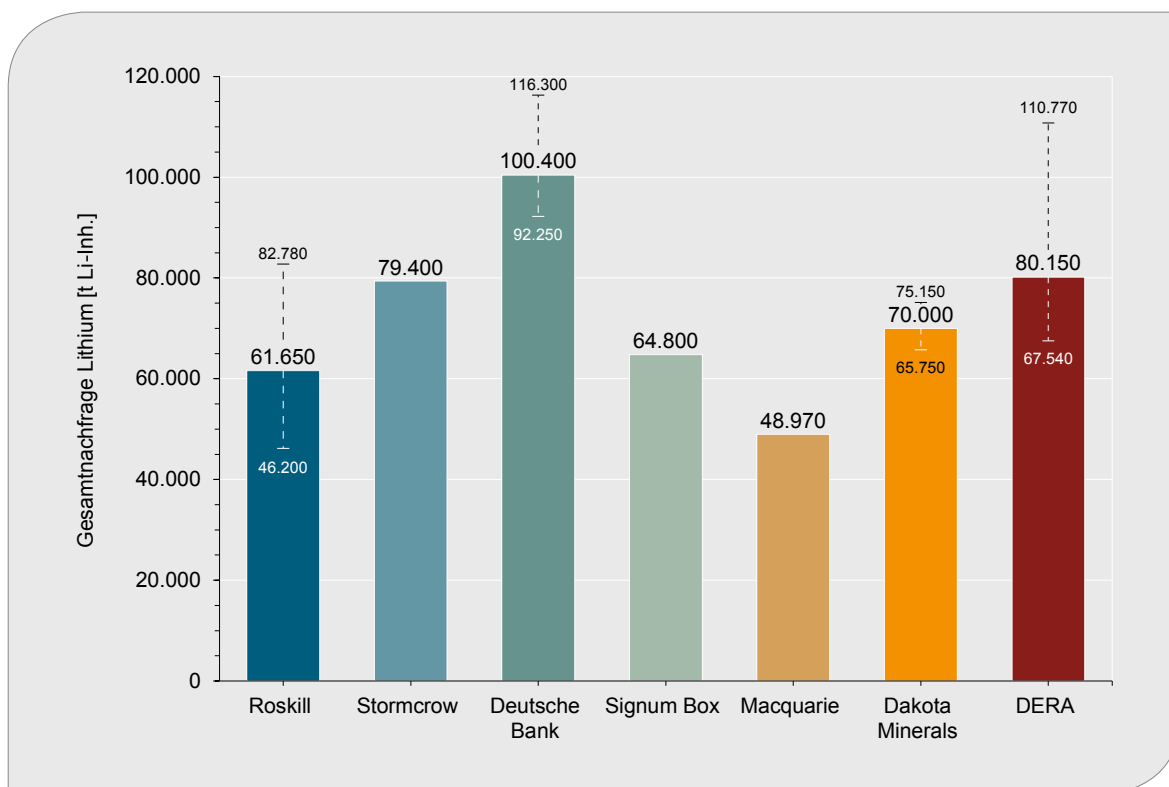


Abb. 61: Gesamtnachfrageprognosen für das Jahr 2025
(Datenquelle: ROSKILL 2016a, STORMCROW 2016, DEUTSCHE BANK 2016, SIGNUM BOX 2016, MACQUARIE 2016, DAKOTA MINERALS 2016, DERA 2017).

2.5.5.1 Zukünftige Nachfrage wichtiger Anwendungsgebiete

Die größten Absatzgebiete nach Anwendung für Lithium waren im Jahr 2015 **wiederaufladbare Batterien** (37,4 %), **Keramik** (13,4 %) und **Glas-keramik** (12 %) (ROSKILL 2016a). Vor allem der Anwendungsbereich der wiederaufladbaren Batterien wird jedoch den mit Abstand größten Einfluss auf die künftige Gesamtnachfrage von Lithium ausüben. Dieser Bereich wird daher im Folgenden detaillierter betrachtet. Auf die **übrigen Anwendungsgebiete** wie Schmierstoffe, Glas, Metallpulver, Polymere u. a. entfielen etwa 37,2 % der Gesamtnachfrage im Jahr 2015 (ROSKILL 2016a) (Kap. 1.3.).

Basierend auf den von der DERA prognostizierten Nachfrageentwicklungen ergeben sich für das Jahr 2025 (Szenario 2, Tab. 27) die folgenden prozentualen Anteile für die wichtigsten Anwendungsbereiche: **wiederaufladbare Batterien** (66,6 %, 53.345 t Li-Inh.), **Keramik** (7,1 %, 5.720 t Li-Inh.),

Glaskeramik (6,4 %, 5.110 t Li-Inh.). Auf die übrigen Anwendungen entfallen knapp 20 % (15.970 t Li-Inh.) (Abb. 62).

Sollte die E-Mobilität jedoch stärker wachsen (Szenario 3, Tab. 27), könnte der Anteil der wiederaufladbaren Batterien am Gesamtbedarf auf knapp 76 % steigen.

Wiederaufladbare Batterien

Für diesen Anwendungsbereich wird in den kommenden Jahren mit einem sprunghaften Nachfragezuwachs gerechnet. Allein zwischen 2014 und 2015 nahm die Nachfrage um ca. 16,4 % zu.

Für den Zeitraum 2015–2025 werden je nach verwendeter Quelle unterschiedlich hohe Nachfragesteigerungen angenommen (Abb. 63). Die Prognose der DERA liegt für den genannten Zeitraum zwischen 8,9 % und 17,1 % pro Jahr (Szenario 2 = 11,9 %) (Tab. 28).

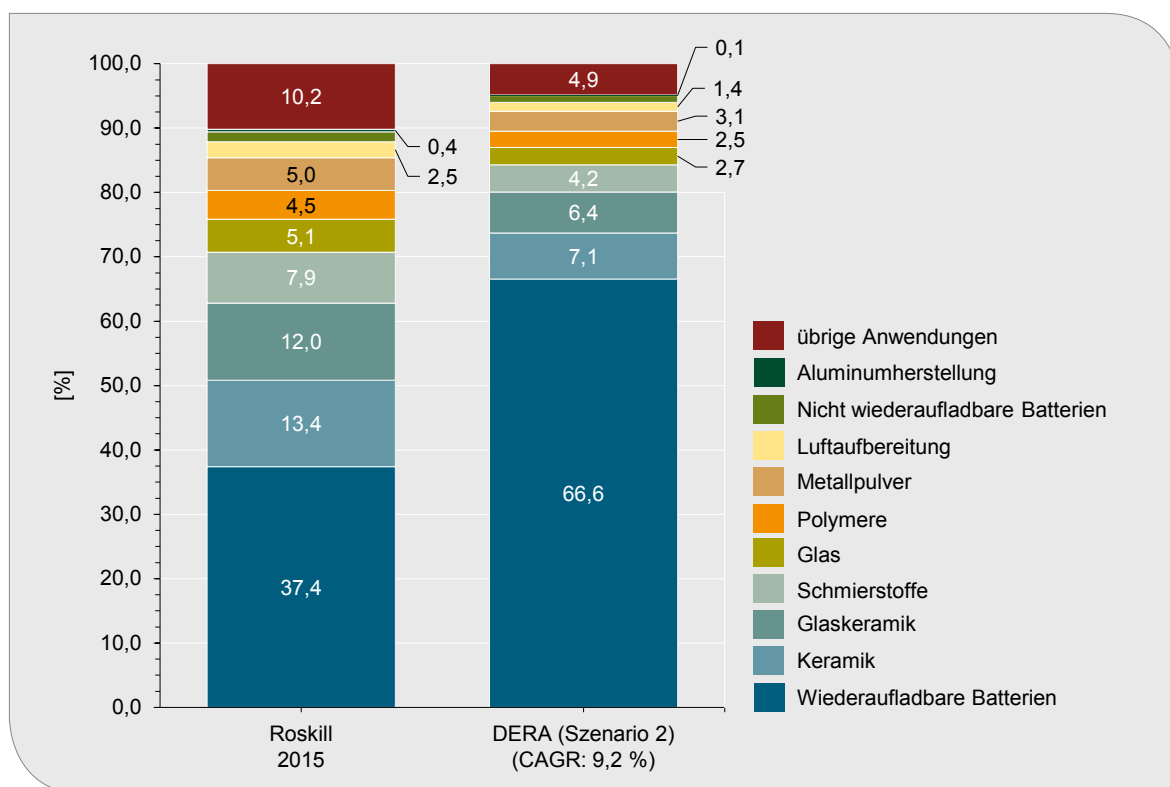


Abb. 62: Nachfrage 2015 im Vergleich zur Prognose 2025 (Base Case)
(Datenquelle: Roskill 2016a, DERA 2017).

Tab. 28: Nachfrageprognosen (wiederaufladbare Batterien) für den Zeitraum 2015–2025
(Datenquelle: ROSKILL 2016a, DEUTSCHE BANK 2016, MACQUARIE 2016, STORMCROW 2016, DERA 2017).

	CAGR 2015–2025 (%)	Nachfrage 2025 (t Li-Inh. ¹)
ROSKILL (2016A)	6,3–15,4	22.880–51.840
DEUTSCHE BANK (2016)	17,6	70.520
MACQUARIE (2016)	17,0 ²	26.690 ²
STORMCROW (2016)	8,1	40.010
DERA (2017)	8,9–17,1³	40.730–83.960

¹ Gerundet, ² angegebene Wachstumsraten entsprechen dem Zeitraum 2015–2020, ³ Szenarien mit jährlichen Wachstumsraten von 8,9 %, 11,9 % und 17,1 %

Gründe für diese hohe Nachfragesteigerung nach Lithium in diesem Sektor stellen die Teilbereiche E-Mobilität, 3C-Anwendungen (Smartphones, Laptops, Tablets), Speicherung regenerativer Energien (ESS) und Werkzeuge und E-Bikes/Trikes dar. Von den genannten Teilbereichen ist jedoch die E-Mobilität der mit Abstand größte und wichtigste Nachfragetreiber.

Die Vorhersagen für die Teilbereiche E-Mobilität und ESS sind aufgrund vieler Parameter (Batteriekosten, Marktdurchdringung, unterschiedliche Absatzmärkte, gesetzliche Anforderungen, gesetzliche Förderung der E-Mobilität, Technologiesprünge, konkurrierende Technologien usw.) sehr schwierig.

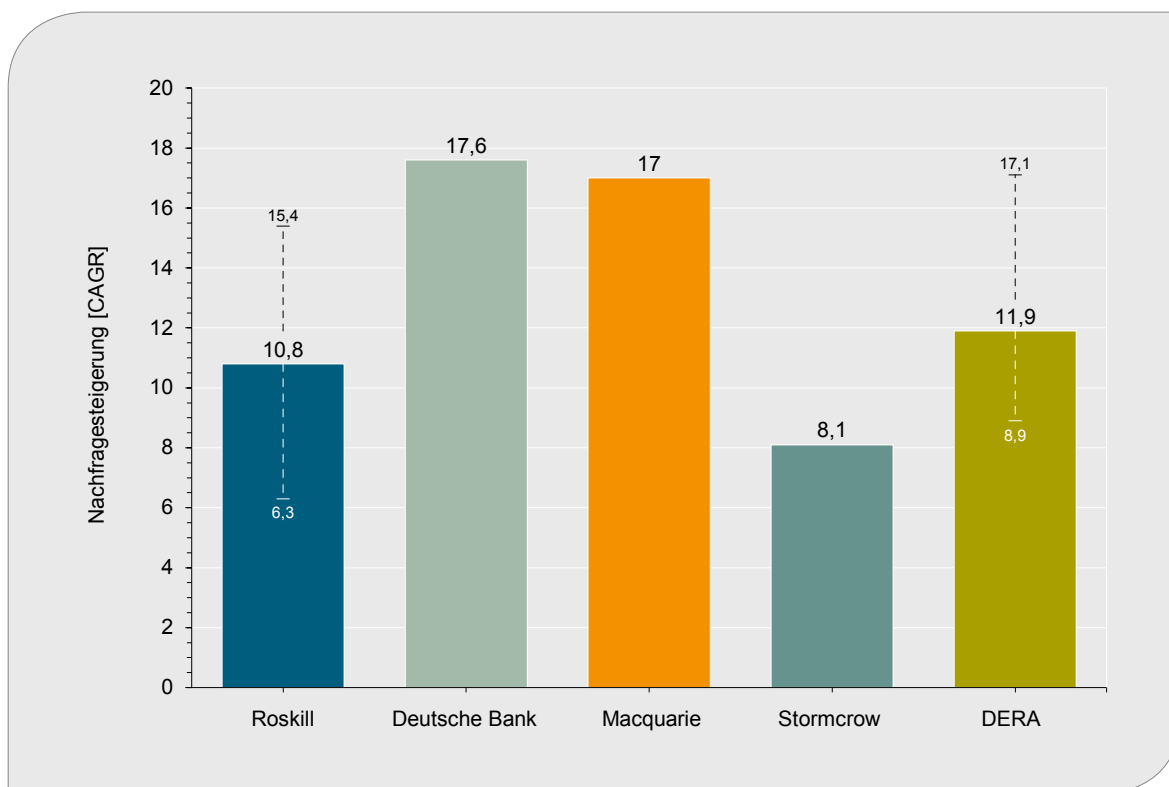


Abb. 63: Prognostizierte jährliche Nachfragesteigerung (CAGR) für wiederaufladbare Batterien bis 2025 (Datenquelle: ROSKILL 2016a, DEUTSCHE BANK 2016, MACQUARIE 2016, STORMCROW 2016, DERA 2017).

Aus diesem Grund schwanken die Prognosen für den gesamten Bereich der wiederaufladbaren Batterien zwischen ca. 23.000 und 84.000 t Li-Inh. für das Jahr 2025 (Spannbreite > 260 %) (Tab. 28).

E-Mobilität

Dieser Anwendungsbereich stellt den mit Abstand wichtigsten und größten Nachfragetreiber für den Anwendungsbereich der wiederaufladbaren Batterien dar. Laut International Energy Agency waren im Jahr 2015 global rund 1,2 Mio. E-Fahrzeuge registriert (BEV, PHEV), was gegenüber dem Jahr 2010 eine Zunahme um den Faktor 100 darstellt. Im Jahr 2014 waren es noch ca. 700.000 Einheiten. Bei einem Gesamtfahrzeugbestand von knapp 1 Mrd. Fahrzeuge macht die E-Mobilität aktuell jedoch nur etwa 0,1 % aus. Um z. B. die Ziele der EVI 2020 (Electric Vehicles Initiative) von global 20 Mio. E-Fahrzeuge im Jahr 2020 zu erreichen, sind substantielle Wachstumsraten notwendig.

In der DERA-Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016“ werden für den Bereich der E-Mo-

bilität zwei Nachfrageszenarien für Lithium bis zum Jahr 2035 entworfen. Das Szenario „Marktdurchdringung E-PKW“ geht dabei von global rund 24,3 Mio. PHEV, 15,6 Mio. HEV, 14 Mio. BEV und 6,2 Mio. Brennstoffzellenfahrzeugen aus. Für dieses Szenario wird ein Lithiumbedarf von rund 110.000 t Li-Inh. im Jahr 2035 vorhergesagt (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2016).

Die nationale Plattform Elektromobilität (NPE) geht in ihren beiden Szenarien für das Jahr 2025 von einem E-Fahrzeugabsatz (BEV, PHEV) von 6,4 bis 17,8 Mio. Einheiten aus (NPE 2016). Dies entspricht, unter Berücksichtigung der NPE-Parameter zur Batteriegröße von BEV und PHEV in etwa 153–390 GWh. Unter der Annahme von ca. 180 g Li-Inh. (ca. 0,98 kg LCE) pro kWh entspräche das rd. 27.500–70.200 t Li-Inh.

Tab. 29 gibt einen Überblick über verschiedene Nachfrageprognosen für den Teilbereich der E-Mobilität. Die Spannbreite der Prognosen liegt hierbei zwischen ca. 14.815 t Li-Inh. und 66.650 t Li-Inh. für das Jahr 2025 (350 %).

Tab. 29: Nachfrageprognosen (E-Mobilität) für den Zeitraum 2015–2025
(Datenquelle: ROSKILL 2016a, DEUTSCHE BANK 2016, DERA 2017).

	CAGR 2015–2025 (%)	Nachfrage 2025 (t Li-Inh. ¹)
ROSKILL (2016a) low	14,6	14.815
ROSKILL (2016a) medium	19,4	22.220
ROSKILL (2016a) high	24,3	33.330
DEUTSCHE BANK (2016)	23,4	38.475
DERA (2017) Szenario 1^{2,3}	20,0	23.420
DERA (2017) Szenario 2^{2,4}	25,2	36.030
DERA (2017) Szenario 3^{2,5}	33,2	66.650

¹ Gerundet, ² CAGR-Berechnung basiert auf der Nachfrage aus dem Jahr 2015 nach Roskill 2016a, ³ Bedarf Automobilbranche = 130 GWh (180 g Li-Inh. pro kWh), ⁴ Bedarf Automobilbranche = 200 GWh (180 g Li-Inh. pro kWh), ⁵ Bedarf Automobilbranche = 370 GWh (180 g Li-Inh. pro kWh)

Die globale Produktion von Fahrzeugen (PKW, Nutzfahrzeuge) stieg im Jahr 2015 gegenüber dem Jahr 2003 von rund 60,7 Mio. Einheiten auf 90,8 Mio. Einheiten (+ 49,6 %) (OICA 2017a). Im Vergleich zum Vorjahr (2014) stieg die Produktion um 1,1 %. Der reine PKW-Markt wuchs zwischen 2014 und 2015 analog zum Gesamtmarkt um 1,1 % von 67,8 auf 68,5 Mio. Einheiten (OICA 2017a). In Deutschland wurden 2015 etwa 5,7 Mio. PKW produziert und somit knapp 2 % mehr als im Vorjahr.

Der Anteil von rein elektrischen Fahrzeugen (BEV), Plugin-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) und Hybridfahrzeugen (HEV) lag im Jahr 2015 nach Angaben der DEUTSCHEN BANK (2016) bei knapp unter 4 Mio. verkauften Einheiten. Der Anteil von BEV und PHEV lag bei unter 1 Mio. Einheiten (Anteil < 1 %). Der Großteil wurde also von Hybridfahrzeugen gestellt. Für das Jahr 2025 wird mit einem

Absatz von mehr als 15 Mio. Einheiten (BEV, HEV, PHEV) gerechnet.

Aufgrund der Relevanz des Automobilsektors für die künftige Nachfrage nach Lithium soll dieser im Folgenden näher betrachtet werden.

Laut ROSKILL (2016a) wurden 2015 abweichend dazu nur knapp zwei Mio. Einheiten (BEV, HEV, PHEV) verkauft. Der Anteil von Hybridfahrzeugen (HEV) lag dabei bei rund 75 %.

Auf rein elektrische Fahrzeuge entfallen lediglich 14,6 % (ca. 450.000 Einheiten). Die International Energy Agency gibt die Zulassungen reiner E-Fahrzeuge (BEV) für das Jahr 2015 mit knapp 550.000 Einheiten an.

Tab. 30: Übersicht der globalen PKW-Neuzulassungen im Vergleich zu Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen (BEV, PHEV, HEV) (Datenquelle: ACEA 2017, OICA 2017a-b, EV-VOLUMES 2017).

Land	Zulassungen [Einheiten] ¹		YoY [%]	E-Mobilität [Einheiten] ²		YoY [%]	Anteil 2015 [%]	Anteil 2016 [%]
	2015	2016		2015	2016			
China	21.210.339	24.376.902	14,9	188.736	351.071	86,1	0,9	1,4
EU 28	13.696.221	14.627.789	6,8	192.551 ³	222.221 ³	15,4	1,4	1,5
USA	7.516.826	6.872.729	-8,6	115.403	157.130	36,2	1,5	2,3
Japan	4.215.889	4.146.459	-1,6	28.000 ⁴	n. A.	n. A.	0,7	n. A.
Summe⁵:	66.314.155	69.464.432	4,8	539.421	773.563	43,4	0,8	1,1

¹ Zulassungszahlen enthalten sämtliche PKW-Klassen (Benzin, Diesel, HEV, PHEV, BEV), ² Angaben beziehen sich auf BEV, PHEV und HEV, ³ Daten einiger Mitgliedstaaten geschätzt, ⁴ Schätzung EV-Volumen, ⁵ geringe Abweichung durch Rundung möglich

Tab. 31: Übersicht der europäischen PKW-Neuzulassungen im Vergleich zu Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen (BEV, PHEV, excl. HEV) (Datenquelle: ACEA 2017, OICA 2017a-b, EV-VOLUMES 2017).

Land	Zulassungen [Einheiten] ¹		YoY [%]	E-Mobilität [Einheiten] ²⁾		YoY [%]	Anteil 2015 [%]	Anteil 2016 [%]
	2015	2016		2015	2016			
Deutschland	3.206.042	3.351.607	4,5	24.156	44.000 ⁴	82,1	0,8	1,3
Großbritannien	2.633.503	2.692.786	2,3	28.000 ⁴	n. A.	n. A.	1,1	n. A.
Frankreich	1.917.226	2.015.177	5,1	26.551	42.000 ⁴	58,2	1,4	2,1
Italien	1.569.085	1.824.382	16,3	3.300 ⁴	n. A.	n. A.	0,2	n. A.
Niederlande	448.925	382.825	-14,7	43.281	35.000	-19,1	9,6	9,1
Norwegen	150.686	154.603	2,6	34.343	n. A.	n. A.	22,8	n. A.
Summe EU⁵:	13.696.221	14.627.789	6,8	192.551	222.221	15,4	1,4	1,5

¹ Zulassungszahlen enthalten sämtliche PKW-Klassen (Benzin, Diesel, HEV, PHEV, BEV), ² Angaben beziehen sich auf BEV, PHEV und HEV, ³ Daten einiger Mitgliedstaaten geschätzt, ⁴ Schätzung EV-Volumen, ⁵ geringe Abweichung durch Rundung möglich

Basierend auf globalen Zulassungszahlen der Jahre 2015 und 2016 sowie auf Verkaufszahlen von E-Fahrzeugen sind die jeweiligen Anteile der E-Mobilität in Tab. 30 und Tab. 31 vergleichend zusammengefasst.

Für das Jahr 2015 ergibt sich ein Anteil der E-Mobilität am Gesamtmarkt von 0,8 % (ca. 540.000 Einheiten). Im Folgejahr (2016) stieg dieser Anteil bereits auf 1,1 % (ca. 774.000 Einheiten).

In Europa machte die E-Mobilität 2015 etwa 1,4 % der Neuzulassungen aus. Im Jahr 2016 stieg der Anteil nur geringfügig auf den Wert von 1,5 % (Tab. 31). Abhängig vom Absatzmarkt unterscheiden sich die Zulassungszahlen und dementsprechend auch die Prognosen für den künftigen Absatz von E-Fahrzeugen. Größter und wichtigster Absatzmarkt für reine Elektrofahrzeuge ist seit 2015 China, wo rund 189.000 Fahrzeuge (BEV, PHEV) abgesetzt wurden. Der Anteil am chinesischen Gesamtmarkt lag bei 0,9 % (EV-VOLUMES 2017). Diese Angabe enthält jedoch keine Hybridfahrzeuge. Gegenüber dem Jahr 2015 hat der Absatz 2016 um 85 % auf 351.100 Fahrzeuge (BEV, PHEV) zugenommen. Gemessen an den Zulassungszahlen ergibt das einen Marktanteil von etwa 1,4 % (Tab. 30).

Die DEUTSCHE BANK (2016) gibt die Verkaufszahlen in China für das Jahr 2015 abweichend mit rund 379.000 E-Fahrzeugen an (BEV, PHEV). Hiervon entfallen etwa 88.144 Einheiten auf die Kategorie

Plugin-Hybrid (PHEV) und 290.874 auf die Kategorie der reinen E-Fahrzeuge (BEV). Der Anteil der Hybridfahrzeuge (HEV) ist nicht bekannt. Diese Fahrzeugklasse wurde nur bis 2013 steuerlich gefördert. Der Fokus der chinesischen Regierung liegt jedoch aktuell auf der steuerlichen Förderung von Fahrzeugen der Kategorie BEV und PHEV. Nach BLOOMBERG (2016) soll es hier jedoch mittelfristig Änderungen geben. So sollen künftig auch wieder Hybridfahrzeuge gefördert werden, um den Flottenverbrauch und somit die Emissionen, vor allem in Städten, zu senken. Bis zum Jahr 2030 soll der Anteil von Hybridfahrzeugen auf etwa 20 % wachsen. Größte Treiber der E-Mobilität in China sind prinzipiell die staatliche Förderung dieser Fahrzeugklassen sowie eine aktive Quotenregelung.

Für den Zeitraum 2015–2020 geht die DEUTSCHE BANK (2016) von einem Nachfragewachstum von rund 27 % pro Jahr für den chinesischen Markt aus. Dies würde 2020 einem Markt von rund 1,26 Mio. E-Fahrzeugen entsprechen. Die chinesische Regierung hat ein Ziel von rund 4,6 Mio. Fahrzeugen angegeben (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY 2016).

Bis zum Jahr 2015 waren die USA größter Absatzmarkt für Fahrzeuge der Klassen BEV, HEV und PHEV. Laut EV-VOLUMES (2017) wurden im Jahr 2015 rund 115.000 Einheiten (BEV, PHEV) verkauft. Dies entspricht bei 7,5 Mio. Fahrzeugen aller Kategorien (OICA 2017a) einem Marktanteil

der E-Fahrzeuge von ca. 1,5 %. Der Anteil reiner Elektrofahrzeuge lag bei 62 % (EV-VOLUMES 2017). Abweichend zu China sank der Verkauf dieser Fahrzeugkategorie zwischen 2014 und 2015 jedoch um 4 % aufgrund sinkender Kraftstoffkosten. Im Jahr 2016 stieg der Verkauf aber erneut und erreichte ein Allzeithoch. Mit rund 157.130 verkauften Einheiten bei einem Gesamtautomobilmarkt von rund 6,87 Mio. Einheiten stieg der Anteil der E-Mobilität auf ca. 2,3 % (Tab. 30).

Das Wachstum gegenüber 2015 lag bei rund 36 % (EV-VOLUMES 2017). Ursache hierfür sind gestiegene Absatzzahlen, vor allem bei dem Elektropionier Tesla (Model S und Model X), GM (Volt) und Ford (Fusion). Allein diese vier Modelle machten 56 % der Neuzulassungen in den USA aus.

Für den US-amerikanischen Markt geht die DEUTSCHE BANK (2016) für den Zeitraum 2015–2025 von einem Nachfragewachstum für BEV, HEV und PHEV von rund 21 % pro Jahr aus. Dies würde einem Markt von mehr als 2,5 Mio. Fahrzeugen im Jahr 2025 entsprechen. Im Jahr 2017 wird vermutlich das neue Model 3 des Herstellers Tesla eingeführt. Für dieses Fahrzeug gibt es bereits mehr als 400.000 Vorbestellungen.

In Europa wurden im Jahr 2015 etwa 13,69 Mio. Fahrzeuge neu zugelassen (Oica 2017a). Hiervon entfallen etwa 192.551 Einheiten auf die Kategorie E-Fahrzeuge (EV-VOLUMES 2017), HEV nicht eingeschlossen. Dies entspricht einem Anteil von rund 1,4 % der E-Mobilität (BEV, PHEV) am Gesamtmarkt. Gegenüber 2014 hat der Absatz von E-Fahrzeugen (BEV, PHEV) 2015 um knapp 100 % zugenommen.

In Europa lag der Absatz von E-Fahrzeugen im Jahr 2016 bei etwa 222.221 Einheiten, bei einem Gesamtautomobilmarkt von 14,63 Mio. Einheiten (OICA 2017b). Der Anteil der E-Mobilität (BEV, PHEV) hatte somit 2016 einen Anteil von rund 1,5 % (Tab. 31). Im Jahr 2015 lag der europäische Durchschnitt der Marktdurchdringung (BEV, PHEV) laut EV-VOLUMES (2017) bei rund 1,4 %.

Innerhalb Europas herrscht jedoch eine große Heterogenität, was die aktuelle Marktdurchdringung sowie Neuzulassungen von E-Fahrzeugen angeht. Dementsprechend sind auch unterschiedliche Wachstumsraten bis 2025 zu erwarten. Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Neben unterschiedlichen Anforderungsprofilen stellen die zur Verfügung stehenden Modelle, die Ladeinfrastruktur sowie staatliche Förderungen bzw. steuerliche Vergünstigungen wichtige Schlüsselanreize zum Kauf dar.

Länder wie die Niederlande und Norwegen sind in Europa dabei Spitzenreiter, was E-Mobilität betrifft. In Norwegen hatte diese 2015 bspw. einen Marktanteil von rund 22,8 % (Tab. 31). Deutschland rangiert in diesem Vergleich im gleichen Jahr mit etwa 0,8 % Marktanteil im unteren Bereich. Gegenüber 2014 ist in Deutschland zwar eine Zunahme von 82 % zu verzeichnen, jedoch ist das Gesamtniveau vergleichsweise gering. Für das Jahr 2016 wird von EV-VOLUMES (2017) mit etwa 44.000 Einheiten exklusive HEV gerechnet. Der Gesamtautomobilmarkt lag 2016 bei 3,35 Mio. Einheiten (OICA 2017b). Die E-Mobilität, ohne HEV, hätte dann einen Anteil von lediglich 1,3 %. Das ursprüngliche Ziel der Bundesregierung lag bei 1 Mio. E-Fahrzeuge im Jahr 2020.

Tab. 32: Nachfrageprognosen (3C-Anwendungen) für den Zeitraum 2015–2025
(Datenquelle: ROSKILL 2016a, DEUTSCHE BANK 2016, DERA 2017).

	CAGR 2015–2025 (%)	Nachfrage 2025 (≈ t Li-Inh. ¹)
ROSKILL (2016a) low	–1,7	6.795
ROSKILL (2016a) medium	2,3	10.200
ROSKILL (2016a) high	6,6	15.300
DEUTSCHE BANK (2016)	3,2	11.845
DERA (2017)^{2, 3}	2,3	10.200

¹ Gerundet, ² CAGR-Berechnung basiert auf der Nachfrage aus dem Jahr 2015 nach ROSKILL 2016a, ³ 3C-Anwendungen werden in allen drei Szenarien für wiederaufladbare Batterien mit einem CAGR von 2,3 % berücksichtigt

3C-Anwendungen

3C-Anwendungen wie Smartphones, Laptops und Tablets stellten 2015 laut ROSKILL (2016a) den wichtigsten Nachfragebereich für wiederaufladbare Batterien dar (Anteil ca. 65 %). Dieser Markt wird als relativ gesättigt angesehen.

In den drei DERA-Szenarien für wiederaufladbare Batterien (Tab. 28) werden 3C-Anwendungen daher jeweils mit einem CAGR von 2,3 % berücksichtigt. Der Bedarf würde dann bei rund 10.200 t Li-Inh. liegen (Tab. 32). Die DEUTSCHE BANK (2016) prognostiziert ein vergleichbar niedriges Wachstum von jährlich ca. 3,2 % bis 2025. Der Bedarf würde dann bei rund 11.800 t Li-Inh. liegen.

Werkzeuge und E-Roller

In diesen Bereich gehören Anwendungen wie elektrische Werkzeuge, Gartengeräte und elektrische Zweiräder und Trikes (exkl. Fahrräder). All diese Bereiche wurden bisher hauptsächlich durch NiCd- und NiMH-Batterien gespeist. Lithium-Ionen-Batterien ersetzen diese älteren Technologien aber zunehmend. Aus diesem Grund wird dieser Anwendungsbereich auch in einem größeren Maß wachsen als bspw. 3C-Anwendungen.

Im Jahr 2015 lag die Nachfrage mit etwa 440 t Li-Inh. bei rund 3,6 % des Gesamtbedarfs wiederaufladbarer Batterien (ROSKILL 2016a). Für den Zeitraum 2015–2025 werden je nach verwendeter Quelle unterschiedlich hohe Nachfragesteigerungen angenommen (Tab. 33). Die Nachfrageprognose der DERA (2017) für den Zeitraum 2015–2025 geht von einem jährlichen Wachstum von 25 % aus (Tab. 33). Der Bedarf würde 2025 entsprechend bei ca. 4.115 t Li-Inh. liegen.

Die DEUTSCHE BANK (2016) sieht in ihren Prognosen ein wesentlich höheres Potenzial in diesem Bereich. Vor allem im Bereich der E-Bikes und E-Trikes soll der Bedarf von rund 545 t Li-Inh. (2015) auf ca. 13.880 t Li-Inh. im Jahr 2025 zunehmen. Dies würde einem jährlichen Wachstum von rund 38,2 % entsprechen.

Tab. 33: Nachfrageprognosen (Werkzeuge und E-Roller) für den Zeitraum 2015–2025
(Datenquelle: ROSKILL 2016a, DEUTSCHE BANK 2016, DERA 2017).

	CAGR 2015–2025 (%)	Nachfrage 2025 (≈ t Li-Inh. ¹)
ROSKILL (2016a) low	6,5	830
ROSKILL (2016a) medium	10,9	1.240
ROSKILL (2016a) high	15,5	1.860
DEUTSCHE BANK (2016)	38,2	13.880
DERA (2017)^{2, 3}	25,0	4.115

¹ Gerundet, ² CAGR-Berechnung basiert auf der Nachfrage aus dem Jahr 2015 nach ROSKILL 2016a, ³ Werkzeuge und E-Roller werden in allen drei Szenarien für wiederaufladbare Batterien mit einem CAGR von 25 % berücksichtigt

Tab. 34: Nachfrageprognosen (ESS) für den Zeitraum 2015–2025
(Datenquelle: ROSKILL 2016a, DEUTSCHE BANK 2016, DERA 2017).

	CAGR 2015–2025 (%)	Nachfrage 2025 (≈ t Li-Inh. ¹)
ROSKILL (2016a) low	20,8	450
ROSKILL (2016a) medium	25,2	890
ROSKILL (2016a) high	33,2	1.350
DEUTSCHE BANK (2016)	55,8	6.450
DERA (2017)^{2, 3}	46,0	3.100

¹ Gerundet, ² CAGR-Berechnung basiert auf der Nachfrage aus dem Jahr 2015 nach ROSKILL 2016a, ³ ESS-Anwendungen werden in allen drei Szenarien für wiederaufladbare Batterien mit einem CAGR von 46 % berücksichtigt

Speicherung regenerativer Energien (ESS)

Im Bereich der stationären Stromspeicherung stehen Lithium-Ionen-Batterien einer breit gefächerten Konkurrenz gegenüber. Für den Zeitraum 2015–2025 werden je nach verwendeter Quelle unterschiedlich hohe Nachfragesteigerungen angenommen. Die Nachfrageprognose der DERA (2017) für den Zeitraum 2015–2025 geht von einem jährlichen Wachstum von 46 % aus (Tab. 34). Der Bedarf würde 2025 entsprechend bei ca. 3.100 t Li-Inh. liegen (Abb. 64).

Die Speicherkapazität von Lithium-Ionen-Batterien lag 2015 nach ROSKILL (2016a) bei rund 0,33 GWh. Für das Jahr 2025 wird eine Kapazität von 5,75 GWh (Base Case) angenommen. Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von rund 25,2 %. Lag der Bedarf an Lithium 2015 bei rund 66 t Li-Inh., so könnte er je nach Szenario auf 450–1.350 t Li-Inh. steigen (ROSKILL 2016a).

In seiner aktuellen Batteriestudie geht ROSKILL (2016b) jedoch von deutlich höheren Kennzahlen aus. Die Speicherkapazität von Lithium-Ionen-Batterien lag 2015 demnach bei 1,8 GWh (ROSKILL 2016b). Dies entspricht einem Anteil von rund 40 % am Gesamtmarkt für ESS-Anwendungen. Der Gesamtmarkt könnte mit einer jährlichen Wachstumsrate von rund 15,3 % auf

ca. 19,2 GWh (2025) wachsen. Die Prognose für Lithium-Ionen-Batterien liegt bei ca. 11,6 GWh im Jahr 2025 (CAGR 20,2 %). Der Anteil der Lithium-Ionen-Batterien würde 2025 dann rund 60,4 % betragen.

Die Prognosen der DEUTSCHEN BANK (2016) sehen für den ESS-Markt noch deutlich höhere Wachstumsraten bis 2025. Die Speicherung regenerativer Energien (Wasser, Wind, Solar) hatte laut dieser Studie im Jahr 2015 eine Gesamtnennkapazität von rund 190 GWh. Der Großteil dieser Kapazität (> 90 %) wird durch Pumpspeicherwerke gestellt. Mit einem Anteil von rund 1,13 GWh stellten Batteriesysteme nur etwa 0,6 % der Gesamtspeicherkapazität im Jahr 2015. Auf Lithium-Ionen-Batterien entfielen 2015 davon nur 0,64 GWh. Dies entspricht einem Anteil von etwa 56 % der installierten Batteriespeicherkapazität. Die Prognose für das Jahr 2025 liegt bei 48,3 GWh.

Bezogen auf die Lithiummenge wurden laut DEUTSCHER BANK (2016) im Jahr 2015 rund 75 t Li-Inh. benötigt. Für das Jahr 2025 wird ein Bedarf von rund 6.450 t Li-Inh. prognostiziert (CAGR 55,8 %).

Obwohl diese prognostizierten Wachstumsraten beträchtlich sind und je nach Quelle stark schwanken, so ist doch der Ausgangspunkt 2015 mit Bedarfen < 100 t Li-Inh. vergleichsweise niedrig.

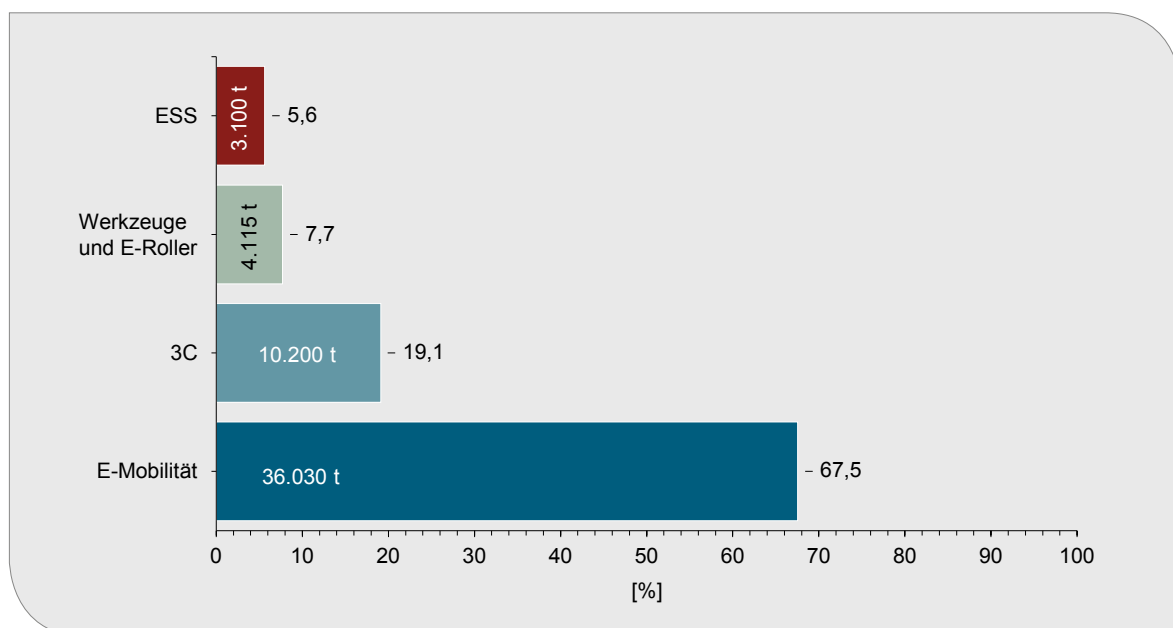


Abb. 64: Prognostizierte Nachfrage nach Lithium im gesamten Bereich der wiederaufladbaren Batterien im Jahr 2025 (Szenario 2) (Datenquelle: DERA 2017).

Keramik

Für den Anwendungsbereich Keramik wird von einem geringen Nachfragezuwachs von 1,0 bis 4 % pro Jahr bis einschließlich 2025 ausgegangen (ROSKILL 2016a). Der Bedarf wird laut dieser Prognosen von ca. 4.470 t Li-Inh. auf ca. 4.940–6.618 t Li-Inh. steigen.

Laut STORMCROW 2016 lag die Nachfrage 2015 bei knapp 5.000 t Li-Inh. Für das Jahr 2025 liegt die Prognose bei rund 9.730 t Li-Inh. (CAGR 9 %).

Die DEUTSCHE BANK (2016) gibt den Bedarf aus diesem Sektor nur kumuliert für die Anwendungsbereiche Keramik und Glas/Glaskeramik mit rund 8.000 t Li-Inh. für das Jahr 2015 an. Laut Prognose sollen diese beiden zusammengefassten Anwendungsbereiche mit einem CAGR von rund 3,7 % auf einen Bedarf von rund 11.450 t Li-Inh. im Jahr 2025 steigen.

Glaskeramik

Die Nachfrage nach Lithium aus dem Anwendungsbereich der Glaskeramik lag laut ROSKILL (2016a) im Jahr 2015 bei etwa 3.990 t Li-Inh. und somit vergleichbar zum Anwendungsbereich Keramik. Für den Zeitraum bis einschließlich 2025 wird mit einem jährlichen Zuwachs von 1 % bis 4 % gerechnet. Dies entspricht einem Bedarf von 4.670 bis 6.230 t Li-Inh. im Jahr 2025.

Für den gleichen Anwendungsbereich gibt STORMCROW (2016) einen Bedarf von 4.280 t Li-Inh. für das Jahr 2015 an. Bis zum Jahr 2025 soll dieser Bereich mit einem CAGR von 7,6 % auf einen Bedarf von etwa 8.340 t Li-Inh. steigen.

Sonstige Anwendungsgebiete

In diesen Bereich fallen Schmierstoffe, Glasindustrie, metallische Pulver, Li-Polymere, Luftreinigung, Primärbatterien (z. B. Knopfzellen) und die Aluminiumherstellung. Diese Bereiche machten zusammengefasst etwa 37,2 % (12.360 t Li-Inh.) der Gesamtnachfrage nach Lithium im Jahr 2015 aus (ROSKILL 2016a).

Für das Jahr 2025 wird von einem Bedarf dieser Bereiche von rund 15.960 t Li-Inh. ausgegangen (Base Case) (ROSKILL 2016a). Dies würde einem jährlichen Zuwachs von etwa 2,6 % entsprechen.

Der Anteil am Gesamtbedarf läge dann bei knapp 26 %. Bis auf den Einzelanwendungsbereich der Aluminiumherstellung, für den eine deutlich sinkende Nachfrage prognostiziert wird, wird der Bedarf für die anderen genannten Anwendungen mit max. 5 % pro Jahr zunehmen. Die geringste Zuwachsrate liegt in den Bereichen Glas und Schmierstoffe. Die höchste im Bereich der Primärbatterien.

STORMCROW (2016) gibt den Bedarf dieser Anwendungsbereiche mit insgesamt ca. 14.900 t Li-Inh. für 2015 an. Der Anteil am Gesamtbedarf liegt somit bei ca. 40,2 %. Die Nachfrageprognose für 2025 liegt bei etwa 21.300 t Li-Inh. Dies entspricht einer Zuwachsrate von etwa 3,7 % pro Jahr. Am Gesamtbedarf hätten diese Anwendungen nur noch einen Anteil von ca. 27,7 %.

Die DEUTSCHE BANK (2016) sieht diese Anwendungsbereiche bei einem zusammengefassten Bedarf von rund 12.630 t Li-Inh. im Jahr 2015. Für 2025 wird ein Nachfragezuwachs von rund 3,9 % auf ca. 18.430 t Li-Inh. prognostiziert. Hätten diese Anwendungen im Jahr 2015 noch einen Anteil von rund 36,5 % am Gesamtbedarf, so wird dieser voraussichtlich auf unter 19 % im Jahr 2025 sinken.

2.5.6 Zukünftige Marktdeckung

Angebotsszenario 1 (konservativ)

Diesem Szenario liegen die folgenden Angebotsparameter zugrunde:

- Das Angebotsszenario stellt ein konservatives Szenario dar.
- Die globale Bergwerksförderung von Lithium etablierter Unternehmen fällt nicht unter die Mengen aus dem Jahr 2015.
- Das Unternehmen Orocobre wird seine geplante Produktionskapazität von 17.500 t LCE (3.290 t Li-Inh.) 2017 erreichen und bis 2025 beibehalten.
- Die von Talison Lithium für das Jahr 2019 angekündigten Betriebserweiterungen um 15.000 t Li-Inh./a werden in diesem Szenario mit 10.000 t Li-Inh. berücksichtigt. Diese zusätzliche Kapazität wird 2022 erreicht und bleibt bis 2025 konstant.
- Die ab 2018 von SQM geplanten Erweiterungen in Chile werden planmäßig umgesetzt.

- Die geplante Erweiterung des Unternehmens Albemarle in Chile (La Negra 2) wird planmäßig umgesetzt.
- Die von Bikita Minerals ab 2017 geplante Kapazitätserweiterung wird wie geplant umgesetzt.
- Darüber hinaus werden die folgenden Projekte planmäßig umgesetzt und in diesem Szenario berücksichtigt: Mt. Cattlin (Galaxy Resources), Mt. Marion (Neometals), Pilgangoora (Pilbara), Pilgangoora (Altura), Whabouchi (Nemaska Lithium), Cauchari-Olaroz (Lithium Americas/SQM), Cuenca (Eramet), Rincon (Enirgi) und Sonora (Bacanora Minerals).
- Die geplante Kapazität des Projekts Rose der Firma Critical Elements von 6.500 t Li-Inh. wird in diesem Szenario abweichend mit 3.250 t Li-Inh. (50 %) im Jahr 2025 berücksichtigt.
- Die geplante Kapazität des Projekts Sal de Vida der Firma Galaxy
- von 25.000 t LCE (4.700 t Li-Inh.) wird in diesem Szenario abweichend mit
- 16.000 t LCE (3.000 t Li-Inh.) im Jahr 2025 berücksichtigt.
- Mögliche Ausbaustufen der genannten Projekte werden in Szenario 1 nicht berücksichtigt.
- Für chinesische Projekte wird aufgrund einer lückenhaften Datenbasis zusammengefasst für das Jahr 2025 von einer Produktionsmenge von rund 5.300 t LCE (1.000 t Li-Inh.) ausgegangen.
- Mögliche Potenziale in Bolivien bleiben in diesem Szenario bis 2025 unberücksichtigt.
- Das Angebot aus dem Sekundärsektor spielt bis 2025 keine Rolle.
- Die hier genannten zusätzlich geplanten Kapazitäten aller Projekte werden in Summe mit **70 %** berücksichtigt (Tab. 25, S.112).

Für das Jahr 2025 ergibt sich in diesem Szenario gegenüber dem Jahr 2015 ein zusätzliches geschätztes Lithiumangebot von rd. 55.020 t Li-Inh. aus der Bergwerksförderung. Dem Markt stünden somit insgesamt rd. 88.030 t Li-Inh. aus der Bergwerksförderung zur Verfügung. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Steigerungsrate (CAGR) von 10,3 % und würde damit deutlich über dem langfristigen Trend von 5,5 % pro Jahr (1960–2015) und dem mittelfristigen Trend von 5,6 % pro Jahr (2005–2015) liegen.

Zwischen 2015 und 2025 wird von durchschnittlichen Nachfragezuwachsen nach Lithium von 7,3 bis 12,8 % jährlich ausgegangen. Der Bedarf würde demnach im Jahr 2025 bei ca. 67.540–110.770 t Li-Inh. liegen.

Bei einem jährlichen Wachstum der Gesamtnachfrage nach Lithium von 7,3 % ab dem Jahr 2015 ergibt sich für das Jahr 2025 ein theoretischer Angebotsüberschuss von rund 20.500 t Li-Inh. (23,3 %). Die Marktsituation wäre in diesem Falle als unbedenklich zu bewerten.

Bei einem jährlichen Wachstum der Gesamtnachfrage nach Lithium von 9,2 % ab 2015 ergibt sich für das Jahr 2025 ein theoretischer Angebotsüberschuss von rund 7.900 t Li-Inh. (9,0 %). Die Marktsituation wäre in diesem Falle ebenfalls als unbedenklich zu bewerten.

Sollte die Gesamtnachfrage nach Lithium ab 2015 mit einem CAGR von 12,8 % zunehmen, ergibt sich für das Jahr 2025 ein theoretisches Angebotsdefizit von rund 22.700 t Li-Inh. (-25,8 %). Diese Marktsituation wäre in diesem Falle als bedenklich zu bewerten.

Sollte die Bergwerksförderung von Lithium mit einem CAGR von 5,5 % pro Jahr zunehmen, was dem Durchschnitt der Jahre 1960–2015 ent-

Tab. 35: Marktdeckung 2025 unter Verwendung unterschiedlicher Nachfrageszenarien und Angebotsszenario 1 (konservativ).

Szenario	CAGR 2015–2025 (%)	Angebot 2025 (t Li-Inh.)	Nachfrage 2025 (t Li-Inh.)	Marktdeckung (t Li-Inh.) ¹	Marktdeckung (%) ¹
1	7,3	88.000	67.500	20.500	23,3
2	9,2		80.150	7.850	9,0
3	12,8		110.800	-22.700	-25,8

¹ Geringe Abweichung durch Rundung möglich

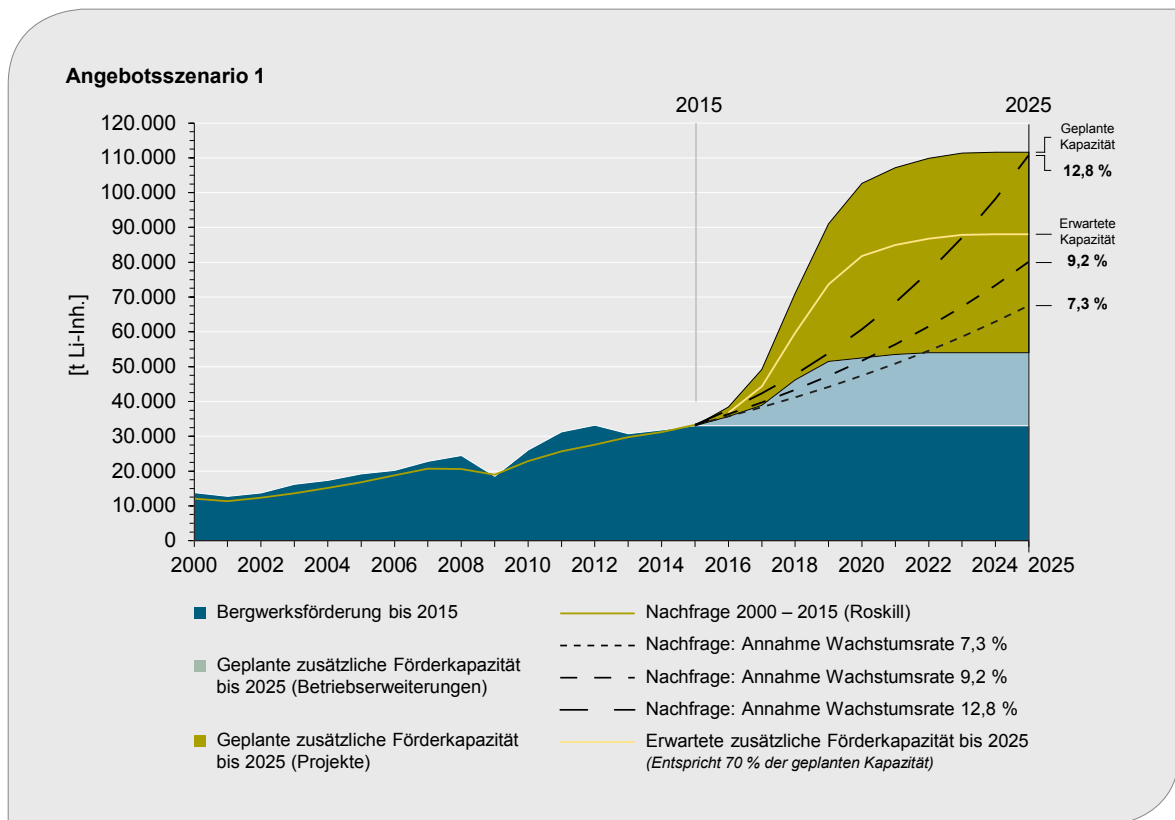


Abb. 65: Entwicklungsszenarien von Angebot und Nachfrage von Lithium bis 2025 (Angebotsszenario 1) (Datenquelle: BGR 2017, ROSKILL 2016a).

spricht, könnte ein Gesamtbedarf von 56.400 t Li-Inh. gedeckt werden.

Die maximal mögliche Nachfragesteigerung, bei welcher der Markt aufgrund der Angebotsentwicklung in Szenario 1 (70 % der geplanten Kapazität sind umgesetzt) bis 2025 noch ausgeglichen wäre, liegt bei ca. 10,2 %. Dieser Wert liegt deutlich über dem Durchschnitt der Jahre 1960–2015 von 5,5 % pro Jahr.

Sollte im Jahr 2025 tatsächlich die angekündigte Kapazität von 78.600 t Li-Inh. (Tab. 25, S. 112) zu 100 % umgesetzt werden, könnte eine Nachfragesteigerung von 12,9 % pro Jahr bis 2025 bedient werden. Dieser Wert liegt deutlich über dem jährlichen Durchschnitt der Jahre 1960–2015 von 5,5 %.

Angebotsszenario 2 (optimistisch)

- Diesem Szenario liegen die folgenden Angebotsparameter zugrunde:
- Das Angebotsszenario stellt ein optimistisches Szenario dar.
- Die globale Bergwerksförderung von Lithium etablierter Unternehmen fällt nicht unter die Mengen aus dem Jahr 2015.
- Die von Talison Lithium für das Jahr 2019 angekündigten Betriebsweiterungen um 15.000 t Li-Inh./a werden in diesem Szenario zu 100 % berücksichtigt.
- Diese zusätzliche Kapazität wird stufenweise ab 2022 bis 2025 erreicht.
- Die ab 2018 von SQM geplanten Erweiterungen in Chile werden planmäßig umgesetzt.
- Die ab 2020 geplante Erweiterung des Unternehmens Albemarle in Chile (La Negra 2) wird planmäßig umgesetzt.
- Der zusätzlich von Albemarle angekündigte Bau einer weiteren Produktionsanlage mit einer Kapazität von 25.000 t LCE

- (4.700 t Li-Inh.) wird in diesem Szenario ebenfalls zu 100 % berücksichtigt.
- Das Unternehmen Orocobre wird seine geplante Produktionskapazität von 17.500 t LCE (3.290 t Li-Inh.) 2017 erreichen. Die geplante Erweiterung um 17.500 t LCE (3.290 t Li-Inh.) wird ab 2020 bis 2025 umgesetzt.
 - AMG Mining wird seine geplante Erweiterung und Produktion von Spodumen-Konzentrat in Mibra wie geplant ab 2018 umsetzen (2.500 t Li-Inh.).
 - Die von Bikita Minerals ab 2017 geplante Kapazitätserweiterung wird wie geplant umgesetzt.
 - Das ehemalige Bergwerk Bald Hill (Tawana) wird die Produktion erst im Jahr 2019 aufnehmen und seine Kapazität von 3.600 t Li-Inh. ab 2021 steigern und 2025 erreichen.
 - Darüber hinaus werden die folgenden Projekte planmäßig umgesetzt und in diesem Szenario berücksichtigt: Mt. Cattlin (Galaxy Resources), Mt. Marion (Neometals), Pilgangoora (Pilbara), Pilgangoora (Altura), Whabouchi (Nemaska Lithium), Cauchari-Olaroz (Lithium Americas/SQM), Cuenca (Eramet), Rincon (Enirgi), Sonora (Bacanora Minerals), Keliber Oy (Keliber).
 - Die geplante Kapazität des Projekts Pilgangoora der Firma Pilbara Minerals von ca. 17.500 t Li-Inh. (Phase 1 + 2) wird in diesem Szenario mit 11.500 t Li-Inh. berücksichtigt. Diese Kapazität wird im Jahr 2025 erreicht.
 - Die geplante Kapazität des Projekts Sal de Vida der Firma Galaxy Resources von 25.000 t LCE (4.700 t Li-Inh.) wird in diesem Szenario zu 100 % berücksichtigt und beginnend ab 2020 kontinuierlich bis 2025 gesteigert.
 - Die geplante Kapazität des Projekts Rose der Firma Critical Elements von 6.500 t Li-Inh. wird in diesem Szenario ebenfalls zu 100 % im Jahr 2025 berücksichtigt.
 - Die geplante Kapazität des Projekts Sonoma (Phase 1 + 2) der Firma Bacanora Minerals von 34.000 t LCE (6.400 t Li-Inh.) wird in diesem Szenario zu 100 % berücksichtigt. Diese Kapazität wird stufenweise ab 2019 bis 2025 erreicht.
 - Die geplante Kapazität des Projekts Cinovec der Firma European Metals von ca. 3.900 t Li-Inh. wird in diesem Szenario abweichend mit 2.000 t Li-Inh. (41 %) berücksichtigt. Diese zusätzliche Kapazität wird stufenweise ab 2022 bis 2025 erreicht.
 - Für chinesische Projekte wird aufgrund einer lückenhaften Datenbasis zusammengefasst für das Jahr 2025 von einer zusätzlichen Produktionsmenge von rund 8.000 t LCE (1.500 t Li-Inh.) ausgegangen.
 - In Bolivien wird in diesem Szenario ab dem Jahr 2022 mit der Produktion gerechnet. Die Produktionsmenge wird für 2022 mit 1.000 t Li-Inh. angenommen und steigt bis 2025 auf 3.000 t Li-Inh. (ca. 16.000 t LCE).
 - Das Angebot aus dem Sekundärsektor spielt bis 2025 keine Rolle.
 - Die hier genannten zusätzlich geplanten Kapazitäten aller Projekte werden in Summe mit **70 %** berücksichtigt (Tab. 25, S. 112).
- Für das Jahr 2025 ergibt sich in diesem Szenario gegenüber dem Jahr 2015 ein zusätzliches geschätztes Lithiumangebot von rd. 87.070 t Li-Inh. aus der Bergwerksförderung. Dem Markt stünden somit insgesamt rd. 120.080 t Li-Inh. aus der Bergwerksförderung zur Verfügung. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Steigerungsrate von 13,8 % und würde damit deutlich über dem langfristigen Trend von 5,5 % pro Jahr (1960–2015) sowie über dem mittelfristigen Trend von 5,6 % pro Jahr (2005–2015) liegen.

Tab. 36: Marktdeckung 2025 unter Verwendung unterschiedlicher Nachfrageszenarien und Angebotsszenario 2 (optimistisch).

Szenario	CAGR 2015–2025 (%)	Angebot 2025 (t Li-Inh.)	Nachfrage 2025 (t Li-Inh.)	Marktdeckung (t Li-Inh.) ¹	Marktdeckung (%) ¹
1	7,3	120.080	67.500	52.600	43,8
2	9,2		80.150	40.000	33,3
3	12,8		110.800	9.400	7,8

¹ Geringe Abweichung durch Rundung möglich

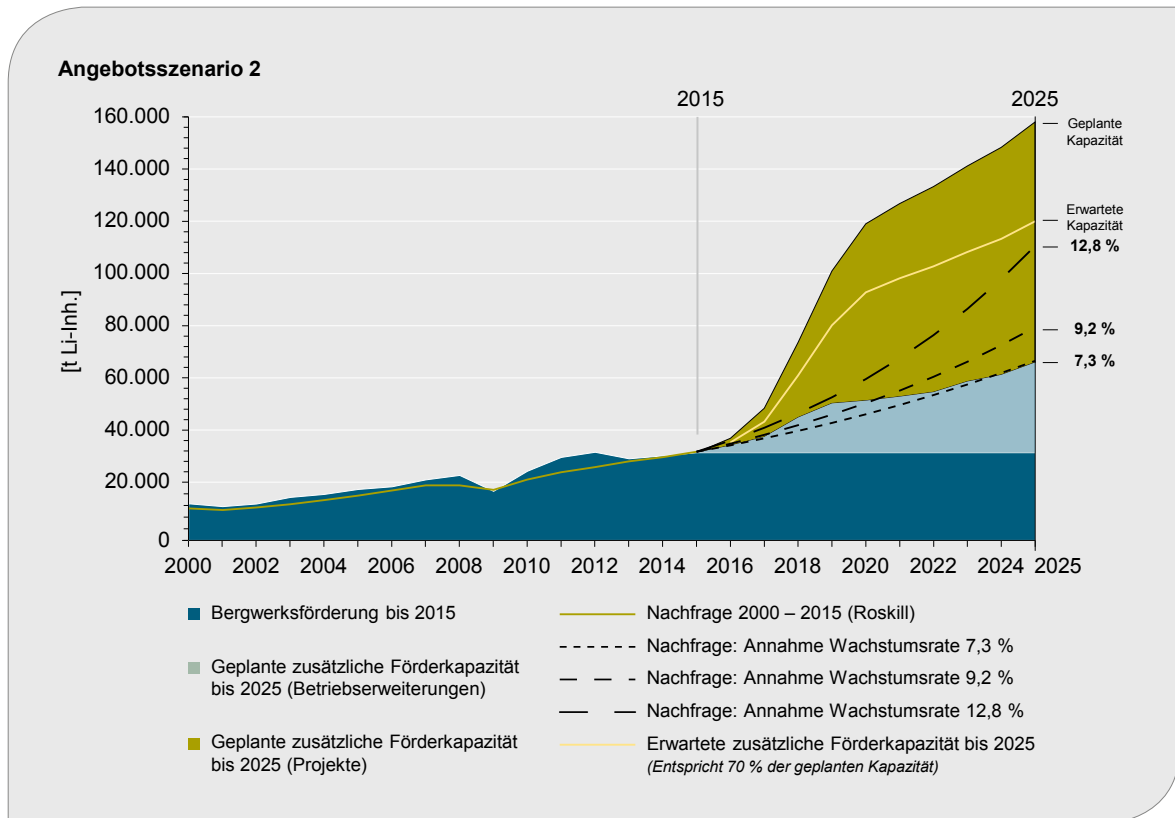


Abb. 66: Entwicklungsszenarien von Angebot und Nachfrage von Lithium bis 2025 (Angebotsszenario 2) (Datenquelle: BGR 2017, Roskill 2016a).

Zwischen 2015 und 2025 wird von durchschnittlichen Nachfragezuwächsen nach Lithium von 7,3 bis 12,8 % jährlich ausgegangen. Der Bedarf würde demnach im Jahr 2025 bei ca. 67.500 t Li-Inh. – 110.800 t Li-Inh. liegen.

Bei einem jährlichen Wachstum der Gesamtnachfrage nach Lithium ab 2015 mit einem Jahresmittel von 7,3 % ergibt sich für das Jahr 2025 ein extremer Angebotsüberschuss von rund 52.600 t Li-Inh. (43,8 %). Die Marktsituation wäre in diesem Falle als unbedenklich zu bewerten. Diese Marktsituation wird allerdings als unrealistisch eingeschätzt.

Bei einem jährlichen Wachstum der Gesamtnachfrage nach Lithium ab 2015 mit einem Jahresmittel von 9,2 % ergibt sich für das Jahr 2025 ein extremer Angebotsüberschuss von rund 40.000 t Li-Inh. (33,3 %). Die Marktsituation wäre in diesem Falle ebenfalls als unbedenklich zu bewerten, wird jedoch ebenfalls als unrealistisch eingeschätzt.

Sollte das jährliche Wachstum der Gesamtnachfrage nach Lithium ab 2015 mit einem Jahres-

mittel von 12,8 % zunehmen, ergibt sich für das Jahr 2025 ein Angebotsüberschuss von rund 9.400 t Li-Inh. (7,8 %). Die Marktsituation wäre in diesem Falle als unbedenklich zu bewerten.

Sollte die Bergwerksförderung von Lithium mit einem CAGR von 5,5 % pro Jahr zunehmen, was dem Durchschnitt der Jahre 1960–2015 entspricht, könnte ein Gesamtbedarf von 56.400 t Li-Inh. gedeckt werden.

Die maximal mögliche Nachfragesteigerung, bei welcher der Markt aufgrund der Angebotsentwicklung in Szenario 2 bis 2025 noch ausgeglichen wäre, liegt bei ca. 13,7 %. Dieser Wert liegt sehr deutlich über dem jährlichen Durchschnitt der Jahre 1960–2015 von 5,5 %.

Sollte im Jahr 2025 tatsächlich die angekündigte Kapazität von 124.505 t Li-Inh. (Tab. 25, S. 112) zu 100 % umgesetzt sein, könnte eine Nachfrage von 16,8 % bedient werden. Dieser Wert liegt sehr deutlich über dem jährlichen Durchschnitt der Jahre 1960–2015 von 5,5 %.

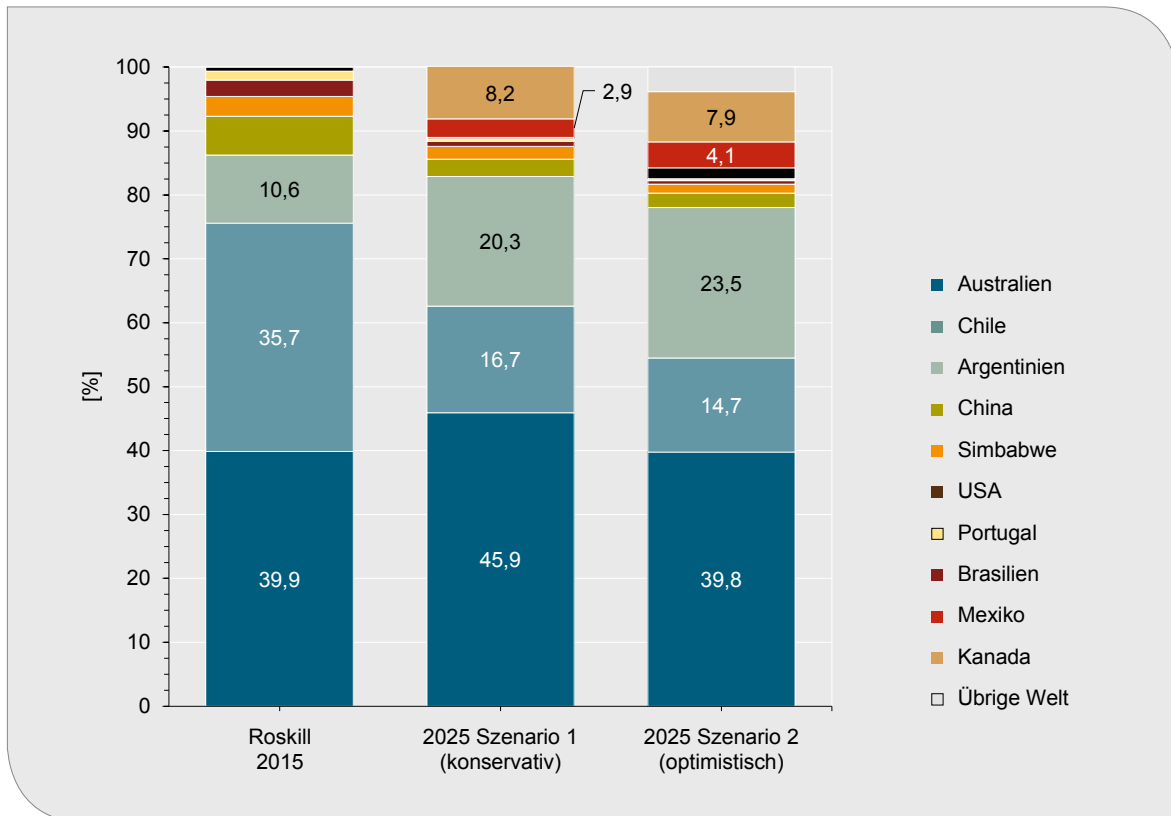


Abb. 67: Veränderung der Länderkonzentration der Bergwerksförderung bis 2025
(Datenquelle: ROSKILL 2016a, DERA 2017).

2.5.6.1 HHI und GLR des zukünftigen Angebots

Legt man das Angebotsszenario 1 (s. o.) zugrunde, verändert sich die Länderkonzentration der Bergwerksförderung von Lithium im Jahr 2025 nur geringfügig gegenüber dem Bezugsjahr 2015. Der HHI würde von 3.033 im Jahr 2015 auf 2.886 im Jahr 2025 sinken.

Der Anteil Australiens am weltweiten Angebot läge dann bei rund 45,9 % (2015 = 40 %). Der Anteil Chiles würde jedoch von knapp 36 % (2015) auf 16,7 % im Jahr 2025 fallen. Im Gegenzug würde der Anteil Argentinens von 10,7 % (2015) auf knapp 20,3 % im Jahr 2025 zunehmen. Der Anteil Kanadas würde von null auf etwa 8,2 % im Jahr 2025 ansteigen. Das gewichtete Länderrisiko, berechnet mit den Weltbankindikatoren von 2013, würde im Jahr 2025 mit einem Wert von 0,97 vergleichbar zu 2015 sein und somit im unbedenklichen Bereich liegen. Entwickelt sich das Angebot wie in Angebotsszenario 2 (s. o.) dargestellt, so verändert sich die Länderkonzentration der Berg-

werksförderung von Lithium im Jahr 2025 mäßig. Der HHI würde von 3.033 im Jahr 2015 auf 2.445 im Jahr 2025 sinken.

Der Anteil Australiens am weltweiten Angebot läge in diesem Szenario bei 39,7 % (2015 = 40 %). Der Anteil Chiles würde in diesem Szenario von knapp 36 % (2015) auf 14,8 % im Jahr 2025 fallen. Im Gegenzug würde der Anteil Argentinens von 10,7 % (2015) auf ca. 23,5 % im Jahr 2025 zunehmen. Der Anteil Kanadas würde von null auf etwa 7,9 % im Jahr 2025 ansteigen. Das gewichtete Länderrisiko, berechnet mit den Weltbankindikatoren von 2013, würde im Jahr 2025 mit einem Wert von 0,84 im unbedenklichen Bereich liegen.

3 Literaturverzeichnis

ACCUREC RECYCLING GMBH (2017): Firmeninformation. – URL: <http://www.accurec.de/news> [Stand: 2017].

ACEA – EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS ASSOCIATION (2017): Online Datenbank. – URL: <http://www.acea.be/statistics/tag/category/registrations-and-press-release-calendar> [Stand: 2017].

ALBEMARLE CORPORATION (2016): Albemarle granted permit to increase lithium brine extraction rates in Chile and enters into MOU with Chilean Government for 27-year lithium quota. – URL: <http://investors.albemarle.com/phoenix.zhtml?c=117031&p=irol-newsArticle&ID=2134475> [Stand: 01.01.2017].

ALBEMARLE CORPORATION. (2017a): Albemarle positioned to double lithium concentrate production at Greenbushes facilities. – News Release. – URL: <http://investors.albemarle.com/phoenix.zhtml?c=117031&p=irol-newsArticle&ID=2254337> [Stand: 16.03.2017].

ALBEMARLE CORPORATION. (2017b): Albemarle receives final approval to expand lithium operations in Chile. – News Release. – URL: <http://investors.albemarle.com/phoenix.zhtml?c=117031&p=irol-newsArticle&ID=2233736> [Stand: 01.01.2017].

ALBEMARLE CORPORATION. (2017c): Albemarle completes acquisition of lithium salts production assets in Asia. – News Release. – URL: <http://investors.albemarle.com/phoenix.zhtml?c=117031&p=irol-newsArticle&ID=2233262> [Stand: 01.01.2017].

ALBEMARLE CORPORATION. (2017d): Key Terms of Albemarle's Amended Lithium Production Rights Agreement ("Amended Agreement") with the Chilean Economic Development Agency ("CORFO"). – Firmenpräsentation [Stand: 09.01.2017].

ALTURA MINING LTD. (2016): 2016 Integrated Annual Report. – 88 S. – URL: http://alturamining.com/?page_id=77 [Stand: 10/2016].

ALTURA MINING LTD. (2017): Charging forward with Lithium. – Präsentation auf der Konferenz: 9th Lithium Supply & Markets Conference, 30.05.2017–01.06.2017, Montreal, Kanada. [Stand: 04.05.2017].

AMG – ADVANCED METALLURGICAL GROUP N.V. (2016): AMG Lithium. – Firmenpräsentation. – URL: <http://1a72zk2afcqqgcy22z770n1b.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/AMG-Li-Presentation.pdf> [Stand: 20.07.2016].

AVALON ADVANCED MATERIALS INC. (2017a): Separation Rapids Lithium Project. – Firmeninformation. – URL: http://avalonadvancedmaterials.com/_resources/factsheet/sr_factsheet.pdf [Stand: 10.02.2017].

AVALON ADVANCED MATERIALS INC. (2017b): Corporate Presentation. – Firmenpräsentation. – URL: http://avalonadvancedmaterials.com/_resources/presentations/Corporate_Presentation.pdf [Stand: 05.06.2017].

BACANORA MINERALS LTD. (2017a): A New Long Term Lithium Supply. – Firmenpräsentation. – URL: <http://www.bacanoraminerals.com/cms/wp-content/uploads/2017/06/Corporate-Presentation-June-2017-08.06.17.pdf> [Stand: 06/2017].

BACANORA MINERALS LTD. (2017b): Acquisition of 50 % Interest in Strategic German Lithium Asset. – ASX/TSX Announcement. – URL: <http://ir.euroinvestor.com/Tools/newsArticleHTML.aspx?solutionID=2482&customerKey=bacanoraminerals&storyID=13536748&language=en> [Stand: 21.02.2017].

BATTERY UNIVERSITY: (2017): Types of Battery Cells. – Firmeninformation. – URL: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells [Stand: 01.06.2017].

BAUER, S. (2017): AkkuWelt. – 222 S.; Würzburg.

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2014): Fachinformationssystem Rohstoffe. – unveröff.; Hannover. [Stand 2017].

BGS – BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2016): Lithium: Definitions, mineralogy and deposits. – URL: <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=3100> [Stand: 06/2016].

BLOOMBERG (2016): China Embraces Hybrid Cars in Pivot From Plug-in Only Path. – News Release. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-10-28/china-embraces-hybrids-in-pivot-from-plug-in-path-to-clean-cars> [Stand: 28.10.2016].

CANNACORD GENUITY LTD. (2017): Tawana Resources & Alliance Mineral Assets (from under the radar to “in the spotlight”). – Investmentreport. – URL: http://spcagent.io/taw/wp-content/uploads/sites/26/2017/04/TAW_40F_COLT_12.04.17.01.pdf [Stand: 12.04.2017].

CORFO – CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (2017a): Lithium Call. – Präsentation Lithium Roadshow Frankfurt, 18.05.2017, Frankfurt am Main, Deutschland [Stand: 18.05.2017].

CORFO – CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (2017b): Locations & Real Estate Alternatives In Northern Chile. – Präsentation Lithium Roadshow Frankfurt, 18.05.2017, Frankfurt am Main, Deutschland [Stand: 18.05.2017].

CRITICAL ELEMENTS LTD. (2016): Critical Elements Announces Strategic Partner Helm Ag To Provide Up To \$4.5m Funding For Feasibility Study. – ASX/TSX Announcement. – URL: https://www.cec corp.ca/documents/en/2016-06-28-news_release.pdf [Stand: 28.06.2016].

CRITICAL ELEMENTS LTD. (2017): Lithium Charged. – Firmenpräsentation. – URL: https://www.cec corp.ca/wp-content/uploads/CRE_Presentation_AN-february-2017-Final-Toronto-NY_NEWCOVER.pdf [Stand: 02/2017].

DESTATIS – STATISTISCHES BUNDESAMT (2017): Genesis-Online. – Online-Datenbank. – URL: <https://www.genesis.destatis.de/genesis/online> [Stand 04/2017].

DEUTSCHE BANK AG (2016): Industry Lithium 101. – 177 S., Sydney.

DEUTSCHE ROHSTOFF AG (2017): Deutsche Rohstoff: Tin International unterzeichnet Joint Venture Vertrag mit Lithium Australia. – News Release. – URL: <http://rohstoff.de/blog/2017/05/25/deutsche-rohstoff-tin-international-unterzeichnet-joint-venture-vertrag-mit-lithium-australia/> [Stand: 25.05.2017].

ERAMET (2016): Eramet Lithium Project. – Präsentation auf der Konferenz: 8th Lithium Supply & Markets Conference, 24.05.2016–26.05.2016, Las Vegas, USA [Stand: 25.05.2016].

EULER HERMES GROUP (2017): Euler Hermes Country Risk Ratings. – March 2017 Review). – URL: <http://www.eulerhermes.com/economic-research/blog/EconomicPublications/country-risk-ratings-q1-2017-mar17.pdf> [Stand: 03/2017].

EUROPEAN LITHIUM LTD. (2017): Firmenpräsentation. – URL: http://2pca3t47jh3n6njgk1kxlf01.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2017/01/170505-Company-Presentation_UPDATE.pdf [Stand: 05/2017].

EUROPEAN METALS LTD. (2017a): Cinovec Lithium/Tin Project. – Firmeninformation. – URL: <https://www.europeanmet.com/cinovec-lithium-tin-project/> [Stand: 04/2017].

EUROPEAN METALS LTD. (2017b): Preliminary Feasibility Study Confirms Cinovec As Potenziell Low Cost Lithium Carbonate Producer. – ASX/TSX Announcement. – URL: https://www.europeanmet.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2017/05/2017019_-_EMH_Completion_of_PFS-2.pdf [Stand: 19.04.2017].

EUROPEAN METALS LTD. (2017c): Grant of Permits. – ASX/TSX Announcement. – URL: <https://www.europeanmet.com/wp-content/uploads/2017/03/43hyjdbdy85gjrn.pdf> [Stand: 02.05.2017].

EV VOLUMES (2017): The Electric Vehicle World Sales Database. – Online Datenbank. – URL: <http://www.ev-volumes.com/> [Stand: 04/2017].

FMC – FOOD MACHINERY CORPORATION (2016): Annual Report 2016. – 116 S. – URL: <https://materials.proxyvote.com/default.aspx?doc-HostID=274688> [Stand: 2016].

GALAXY RESOURCES LTD. (2017): Galaxy Resources. – Firmenpräsentation. – URL: http://www.galaxyresources.com.au/Investor/ASX_Investor_Centre.htm [Stand: 04/2017].

GARRET, D. E. (2004): Handbook Of Lithium And Natural Calcium Chloride: Their Deposits, Proces-

sing, Uses and Properties. – 467 S.; Oxford (Elsevier B. V.).

GRUBER, P., MEDINA, P., KEOLEIAN, G., KESLER, S., EVERSON, M. & WALLINGTON, T. (2011): Global Lithium Availability: A constraint For Electric Vehicles? – Journal of Industrial Ecology: 15, 5, 760–776, New York (Wiley).

GTAI – GERMANY TRADE & INVEST (2016a): Wirtschaftsdaten kompakt – Bolivien. – 6 S. – URL: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Wirtschaftsklima/wirtschaftsdaten-kompakt,t=wirtschaftsdaten-kompakt--bolivien,did=1584978.html> [Stand: 22.11.2016].

GTAI – GERMANY TRADE & INVEST (2016b): Wirtschaftsdaten kompakt – Chile. – 6 S. – URL: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Wirtschaftsklima/wirtschaftsdaten-kompakt,t=wirtschaftsdaten-kompakt--chile,did=1584918.html> [Stand: 22.11.2016].

GTAI – GERMANY TRADE & INVEST (2016c): Wirtschaftsdaten kompakt – Argentinien. – 6 S. – URL: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Wirtschaftsklima/wirtschaftsdaten-kompakt,t=wirtschaftsdaten-kompakt--argentinien,did=1584998.html> [Stand: 22.11.2016].

GTAI – GERMANY TRADE & INVEST (2016d): Wirtschaftsdaten kompakt – Australien. – 6 S. – URL: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Wirtschaftsklima/wirtschaftsdaten-kompakt,t=wirtschaftsdaten-kompakt--australien,did=1584866.html> [Stand: 22.11.2016].

GTAI – GERMANY TRADE & INVEST (2016e): Wirtschaftsdaten kompakt – China. – 6 S. – URL: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Wirtschaftsklima/wirtschaftsdaten-kompakt,t=wirtschaftsdaten-kompakt--china,did=1584726.html> [Stand: 22.11.2016].

GTAI – GERMANY TRADE & INVEST (2016f): Wirtschaftsdaten kompakt – Kanada. – 6 S. – URL: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Wirtschaftsklima/wirtschaftsdaten-kompakt,t=wirtschaftsdaten-kompakt--kanada,did=1584870.html> [Stand: 22.11.2016].

GTIS – GLOBAL TRADE INFORMATION SERVICES INC. (2017): Global Trade Atlas. – kostenpflichtige

Online-Datenbank. – URL: <https://www.gtis.com/gta/https://www.gtis.com/gta/> [Stand: 06/2017].

HAGELÜKEN, C. (2016): Recycling von Lithium-Ionen Batterien. – Präsentation auf der Konferenz: Ressourcenschonung – von der Idee zum Handeln, 21.04.2016–22.04.2016, München, Deutschland [Stand: 21.04.2016].

INDUSTRIAL MINERALS RESEARCH (2017): Global Lithium Market: Five Year Strategic Outlook. – 236 S., London.

KELIBER, OY (2016): High purity lithium carbonate (Targeting fast growing lithium-ion battery markets and other advanced applications). – Präsentation auf der Konferenz: Mines & Money, November 2016, London, Großbritannien [Stand: 28.11.2016].

LEPIDICO LTD. (2017): Creative Resources Leadership. – Firmenpräsentation. – URL: <http://www.lepidico.com/wp-content/uploads/2017/03/LPD-170307-PDAC-Presentation.pdf> [Stand: 10.03.2017].

LIBRI – LITHIUM-IONEN BATTERIERECYCLING INITIATIVE (2011): Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzeptes für die Hochleistungs-batterien zukünftiger Elektrofahrzeuge. – Abschlussbericht. – 132 S., Hanau, Deutschland – URL: http://erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/publications/abschlussbericht-libri_1.pdf [Stand: 2011].

LITHIUM AMERICAS LTD. (2017a): Vamos Argentina! – Firmenpräsentation. – URL: <http://lithiumamericas.com/wp-content/uploads/2017/05/LAC-Investor-and-Analyst-Day-April-2017.pdf> [Stand: 25.04.2017].

LITHIUM AMERICAS LTD. (2017b): NI 43 – 101 Technical Report. – 427 S. – URL: https://lithiumamericas.com/wp-content/uploads/2016/07/NI43101_FS_Cauchari-compressed.pdf [Stand: 2012].

LITHIUM AUSTRALIA LTD (/2017a): Applying advanced technologies to create a sustainable industry. Firmenpräsentation. – URL: <https://lithium-au.com/presentations/> [Stand: 03/2017].

LITHIUM AUSTRALIA LTD (/2017b): Lithium Australia (ASX: LIT) and Tin International complete mutual due diligence and execute Joint

Venture Agreement. – ASX/TSX Announcement. – URL: <https://lithium-au.com/wp-content/uploads/2017/05/1676987.pdf> [Stand: 03/2017].

LI3 ENERGY LTD. (2016): Corporate Presentation. – Firmenpräsentation. – URL: <http://www.li3energy.com/investors/presentations/index.htm> [Stand: 10/2016].

MACQUARIE WEALTH MANAGEMENT LTD. (2016): Global Lithium Report. – 12 S., Sydney, Australien.

MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F., LANGKAU, S., HUMMEN, T., ERDMANN, L., ESPINOZA, T., ANGERER, L., MARWEDE, M & BENECKE, S. (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. – DERA Rohstoffinformationen 28: 353 S., Berlin.

MARTIN, G., SCHNEIDER, A., VOIGT, W. & BERTRAU M. (2017): Lithium extraction from the mineral zinnwaldite: Part II: Lithium carbonate recovery by direct carbonation of sintered zinnwaldite concentrate. – Minerals Engineering 2017: 110, 75–81, Elsevier.

NASDAQ INC. (2016): Enirgi Group Announces Positive Results of Definitive Feasibility Study for Salar De Rincon Lithium Project. – News Announcement (NASDAQ via Marketwired). – URL: <http://www.marketwired.com/press-release/enirgi-group-announces-positive-results-definitive-feasibility-study-salar-del-rincon-2140673.htm> [Stand: 07.07.2016].

NEMASKA LITHIUM (2015): The Nemaska Project and role as a supplier to the battery sector. World's Premier Lithium Opportunity. – Präsentation auf der Konferenz: 2nd International Minerals Conference, 22.09.2015, Berlin, Deutschland. [Stand: 22.09.2015].

NEMASKA LITHIUM (2017): The World's Premier Lithium Opportunity. – Präsentation auf der Konferenz: 9th Lithium Supply & Markets Conference, 30.05.2017–01.06.2017, Montreal, Kanada. [Stand: 04.05.2017].

NEOLITHIUM CORPORATION (2017): Tres Quebradas (3Q) Lithium Project. – Firmenpräsentation. [Stand: 05/2017].

NEOMETALS LTD. (2017a): Mt. Marion Lithium Project Shareholding (Neometals Sale Notice). – News

Announcement – URL: <http://www.neometals.com.au/reports/706-MM070417ann.pdf> [Stand: 07.04.2017].

NEOMETALS LTD. (2017b): Second Shipment Of Lithium Concentrate From Mt. Marion. – ASX/TSX Announcement. URL: http://www.neometals.com.au/reports/705-MM14032017_Second-Shipment_Final.pdf [Stand: 14.03.2017].

NEOMETALS LTD. (2017c): The Evolution of Lithium. – Firmenpräsentation. URL: <http://www.neometals.com.au/reports/738-PRES15052017.pdf> [Stand: 15.05.2017].

NPE – NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT (2016): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland. – 62 S. – URL: http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_AG2_Roadmap_Zellfertigung_final_bf.pdf [Stand: 2016].

OICA – INTERNATIONAL ORGANISATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS (2017a): 2015 Production Statistics. – Online Datenbank – URL: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2015-statistics/> [Stand: 12.11.2016].

OICA – INTERNATIONAL ORGANISATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS (2017b): 2016 Production Statistics. – Online Datenbank – URL: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2016-statistics/> [Stand: 14.11.2016].

OROCOBRE LTD. (2016): Positive scoping studies confirm 17,500 tonne per annum lithium carbonate expansion for Olaroz Lithium Facility in Argentina. – ASX/TSX Announcement. – URL: <http://media.abnnewswire.net/media/en/docs/ASX-ORE-990151.pdf> [Stand: 15.12.2017].

OROCOBRE LTD. (2017): Key Concerns For The Lithium Industry To The End Of The Decade. – Firmenpräsentation. – URL: <http://www.orocobre.com/investor-centre/presentations/> [Stand: 05/2017].

PILBARA MINERALS LTD. (2017): Pilgangoora, the world's leading lithium development project. – Firmenpräsentation. – URL: <http://www.pilbaraminerals.com.au/presentations> [Stand: 01.05.2017].

- PURE ENERGY MINERALS INC. (2017a): Pure Energy Enters Agreements With Lithium X To Expand Clayton Valley Properties And Receive \$2 Million Strategic Investment. – ASX/TSX Announcement. – URL: <http://www.pureenergyminerals.com/pure-energy-enters-agreements-with-lithium-x-to-expand-clayton-valley-properties-and-receive-2-million-strategic-investment/> [Stand: 11.05.2017].
- PURE ENERGY MINERALS INC. (2017b): New Technology for New Lithium Mines. – Firmenpräsentation. – URL: http://www.pureenergyminerals.com/wp-content/uploads/2017/06/PE_CorpUpdate0617-1.pdf [Stand: 11.05.2017].
- RIO TINTO (2016): Jadar Project Highlights (Inovating to Develop New Resources). – Newsletter. – URL: http://www.riotinto.com/documents/RT_Borates_Q4_2016_Jadar_Newsletter_EN.pdf [Stand: 04/2016].
- RIO TINTO (2017a): Rio Tinto Serbia Highlights (Inovating to Develop New Resources). – Newsletter. – URL: http://www.riotinto.com/documents/RT_Borates_Q1_2017_Jadar_Newsletter_EN.pdf [Stand: 01/2017].
- RIO TINTO (2017b): Increase to Jadar Project Mineral Resources. – News release. – URL: http://www.riotinto.com/documents/170302_Increase_to_Jadar_Project_Mineral_Resources.pdf [Stand: 02.03.2017].
- ROLAND BERGER GMBH (2017): Studie zu Verwendungsmöglichkeiten im Bereich Klärschlamm, GFK und Li-Ion Batterien. – Auszug LiBT.-Firmenpräsentation [Stand: 04/2017].
- ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (2016a): Lithium: Global Industry, Markets & Outlook. – 386 S., London, Großbritannien.
- ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (2016b): Lithium-ion Batteries: Market Developments, Raw Materials. – 297 S., London, Großbritannien.
- SANDERSON H. (2016): China's Tianqi circles Chilean lithium producer SQM. – Financial Times (Mergers & Acquisitions). – URL: <https://www.ft.com/content/16e9abf0-7b37-11e6-b837-eb4b4333ee43?mhq5j=e1> [Stand: 28.09.2016].
- SICHUAN TIANQI LITHIUM CO. LTD. (2017): Our History. – URL: <http://www.tianqilithium.com/en/history.aspx?t=51#tops> [Stand: 02.05.2017].
- SNL (2017): Metals & Mining – kostenpflichtige Online-Datenbank; Charlottesville. [Stand: 05/2017].
- SONG, W., GANG, H., MA, Y., YANG, S. & MU, B. (2017): Migration Behavior of Lithium during Brine Evaporation and KCl Production Plants in Qarhan Salt Lake. – Minerals 2017: 7, 57–68.
- SQM – SOCIEDAD DE QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A. (2016): Fourth Quarter 2016 Earnings Presentation. – Firmenpräsentation. – URL: <http://ir.sqm.com/English/investor-relation/corporate-presentation/default.aspx> [Stand: 23.02.2017].
- SQM – SOCIEDAD DE QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A. (2017): First Quarter 2017 Earnings Presentation. – Firmenpräsentation. – URL: http://s1.q4cdn.com/793210788/files/doc_presentations/2017/SQM-CorpPres_1Q17_short.pdf [Stand: 03.05.2017].
- SRK CONSULTING LTD. (2015): Mineral Resource Estimate Update For The Sonora Lithium Project, Mexico. – 106 S. – URL: <http://www.bacanoraminerals.com/pdfs/Ni-43-101-Mineral-Resource-Estimate-Update-For-The-Sonora-Lithium-Project-Mexico-Jan-2016.pdf> [Stand: 20.02.2016].
- TALISON LITHIUM PTY. LTD. (2017): Projects. – URL: <http://www.talisonlithium.com/projects/greenbushes> [Stand: 06/2017].
- TAWANA RESOURCES N.L. (2017): Australia's next Lithium Producer? – Firmenpräsentation. – URL: http://spcagent.io/taw/wp-content/uploads/sites/26/2017/04/Investor-Presentation-April-17_reissued.pdf [Stand: 12.04.2017].
- UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2011): Recycling Rates of Metals – A Status Report. – A Report of the Working Group Global Metal Flows to the International Resource Panel. Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J.-P., Reck, B. K., Sibley, S. F., Sonnemann, G., Buchert, M., Hagelüken, C.: 44 S. – URL: <http://www.unep.org/resourcepanel/Publications/Recyclingratesofmetals/tabid/56073/> [Stand: 12.09.2014].

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (versch. Jg.): Lithium – Minerals Commodity Summaries. – URL: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/> [Stand: 06/2017].

WANGER T. (2014): The Lithium future – resources, recycling, and the environment. – Conservation Letters: 4, 202–206, Adelaide (Wiley Periodicals Inc.).

WCO – WORLD CUSTOMS ORGANIZATION (2014): What is the Harmonized System (HS)? – URL: <http://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/overview/what-is-the-harmonized-system.aspx> [Stand: 27.10.2014].

WORLD BANK GROUP (2016): Worldwide Governance Indicators. – URL: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/#home> [Stand: 2016].

ZENG, X., JINHUI, L., NARENDRA, S. (2014): Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A critical Review. – Critical Reviews in Environmental Science and Technology: 44, 1124–1165.



Anhang





Indikatoren und Risikobewertung für Lithium	122
Glossar	131
Internationaler Handel (Nettoexporte)	133

Indikatoren und Risikobewertung für Lithium

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Angebot und Nachfrage				
<p>Recyclingrate (EOL-RR):</p> <p>End-of-Life-Recyclingrate der UNEP: Quotient aus der Menge der zum Recycling eingesammelten Abfälle und der Gesamtmenge an anfallenden Abfallstoffen</p> <p><i>Bewertungsskala:</i> < 10 % = <i>bedenklich</i> 10 %–50 % = <i>mäßig</i> > 50 % = <i>unkritisch</i></p>	<p>End-of-Life-Recyclingrate</p> <p>Lithium EOL-RR < 0,1 %</p>	<p>EOL – RR < 0,1</p>		
<p>Derzeitige Marktdeckung (Md):</p> <p>Quotient aus Nachfrage zu Angebot. Md gibt den Anteil von Angebotsüberschuss oder -defizit in Prozent an.</p> <p><i>Bewertungsskala:</i> < 0 % = <i>bedenklich</i> 0 %–10 % = <i>mäßig</i> > 10 % = <i>unkritisch</i></p>	<p>Derzeitige Marktdeckung:</p> <p>Lithium Md = -0,8 %</p>	<p>Derzeitige Marktdeckung Md = -0,8</p>		

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Geopolitische Risiken und Marktmacht				
Länderkonzentration der Produktion (HHI): Summe der quadrierten Anteile an der Bergwerksförderung	Bergwerksförderung: HHI = 3.033			
	Weiterverarbeitung: HHI = 3.658			
Gewichtetes Länderrisiko der Produktion (GLR): Summe der Anteile der Bergwerksförderung multipliziert mit dem Länderrisiko	Bergwerksförderung: GLR = 0,95			
	Weiterverarbeitung: GLR = 0,29			
<i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000–2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500–1.500 = <i>mäßig</i> 1.500 = <i>unkritisch</i>				
<i>Bewertungsskala GLR:</i> –2,5– –0,5 = <i>bedenklich</i> –0,5– 0,5 = <i>mäßig</i> –0,5– 2,5 = <i>unkritisch</i>				

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Geopolitische Risiken und Marktmacht				
Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI): Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer	Lithiumkarbonat: HHI = 6.597	<p>Lithiumkarbonat GLR = 6.597</p>		
	Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR): Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer	Lithiumkarbonat: GLR = 0,83	<p>Lithiumkarbonat GLR = 0,83</p>	
	Lithiumoxid, -hydroxid: HHI = 3.200	<p>Lithiumoxid & Lithiumhydroxid HHI = 3.200</p>		
	Lithiumoxid, -hydroxid: GLR = 0,53	<p>Lithiumoxid & Lithiumhydroxid GLR = 0,53</p>		
	Lithiumchlorid: HHI = 5.927	<p>Lithiumchlorid HHI = 5.927</p>		
	Lithiumchlorid: GLR = 0,05	<p>Lithiumchlorid GLR = 0,05</p>		
Bewertungsskala HHI: 10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i> < 1.500 = <i>unkritisch</i>				
Bewertungsskala GLR: -2,5 – -0,5 = <i>bedenklich</i> -0,5 – 0,5 = <i>mäßig</i> 0,5 – 2,5 = <i>unkritisch</i>				

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Geopolitische Risiken und Marktmacht				
<p>Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer</p> <p>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000–2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500–1.500 = <i>mäßig</i> < 1.500 = <i>unkritisch</i></p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> –2,5––0,5 = <i>bedenklich</i> –0,5–0,5 = <i>mäßig</i> –0,5–2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Mineral-Konzentrate: HHI = 8.372</p> <p>Mineral-Konzentrate: GLR = 1,31</p> <p>Lithium-Ionen-Batterien: HHI = 4.353</p> <p>Lithium-Ionen-Batterien: GLR = 0,96</p>	 <p>Mineral-Konzentrate HHI = 8.372</p>  <p>Mineral-Konzentrate GLR = 1,31</p>  <p>Lithium-Ionen-Batterien HHI = 4.353</p>  <p>Lithium-Ionen-Batterien GLR = 0,96</p>		

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Geopolitische Risiken und Marktmacht				
<p>Diversifizierung der Nettoimporte Deutschlands (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der deutschen Nettoimporte</p> <p>Gewichtetes Länderrisiko der Nettoimporte Deutschlands (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoimporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000–2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500–1.500 = <i>mäßig</i> < 1.500 = <i>unkritisch</i></p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> –2,5– –0,5 = <i>bedenklich</i> –0,5–0,5 = <i>mäßig</i> –0,5–2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Lithiumkarbonat: HHI = 3.532</p>	<p>Lithiumkarbonat HHI = 3.532</p>		
	<p>Lithiumkarbonat: GLR = 1,17</p>	<p>Lithiumkarbonat GLR = 1,17</p>		
	<p>Lithiumoxid, -hydroxid: HHI = 3.373</p>	<p>Lithiumoxid & Lithiumhydroxid HHI = 3.373</p>		
	<p>Lithiumoxid, -hydroxid: GLR = 1,19</p>	<p>Lithiumoxid & Lithiumhydroxid GLR = 1,19</p>		
	<p>Lithium-Ionen-Batterien: HHI = 1.804</p>	<p>Lithium-Ionen-Batterien HHI = 1.804</p>		
	<p>Lithium-Ionen-Batterien: GLR = 0,58</p> <p><i>Lithiumoxid, -hydroxid (k. A.) Mineral-Konzentrate (k. A.)</i></p>	<p>Lithium-Ionen-Batterien GLR = 0,58</p>		

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Geopolitische Risiken und Marktmacht				
Firmenkonzentration (HHI): Summe der quadrierten Anteile der Bergwerksförderung/ Weiterverarbeitung einzelner Firmen <i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i> < 1.500 = <i>unkritisch</i>	Bergbaufirmen: HHI = 2.480	<p style="text-align: center;">Bergbaufirmen HHI = 2.480</p>		
	Weiterverarbeitung: HHI = 1.615	<p style="text-align: center;">Weiterverarbeitung HHI = 1.615</p>		
	Bergbaufirmen (Konzentrate): HHI = 5.179	<p style="text-align: center;">Bergbaufirmen HHI = 5.179 (Konzentrate)</p>		
Explorationsgrad Setzt sich zusammen aus Lebensdauer kennziffer und Investitionen in die Exploration Lebensdauer kennziffer (Lk): Quotienten aus Reserven und aktueller Weltbergwerksförderung <i>Bewertungsskala Lk:</i> < 25 Jahre = <i>bedenklich</i> 25–45 Jahre = <i>mäßig</i> > 45 Jahre = <i>unkritisch</i>	Lebensdauer kennziffer: Lk = 440	<p style="text-align: center;">Lebensdauer kennziffer LK = 440</p>		

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Angebot- und Nachfragetrends				
Investitionen in die Exploration (IE): Quotienten aus weltweiten Explorationsausgaben und aktueller Weltbergwerksförderung	Investitionen in die Exploration: (IE) nicht bekannt			
Länderkonzentration (HHI) und gewichtetes Länderrisiko (GLR) der Reserven <i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000–2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500–1.500 = <i>mäßig</i> < 1.500 = <i>unkritisch</i> <i>Bewertungsskala GLR:</i> –2,5– –0,5 = <i>bedenklich</i> –0,5–0,5 = <i>mäßig</i> –0,5–2,5 = <i>unkritisch</i>	Reserven: HHI = 3.490 Reserven: GLR = 0,55	<p>Reserven HHI = 3.490</p> <p>Reserven GLR = 0,55</p>		

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Angebot- und Nachfragetrends				
<p>Länderkonzentration der zukünftigen Produktion (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile an der angenommenen Bergwerksförderung im Jahr 2025</p> <p>Gewichtetes Länderrisiko der zukünftigen Produktion (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der möglichen Bergwerksförderung 2025 multipliziert mit dem Länderrisiko von 2015</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000–2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500–1.500 = <i>mäßig</i> < 1.500 = <i>unkritisch</i></p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> –2,5– –0,5 = <i>bedenklich</i> –0,5–0,5 = <i>mäßig</i> –0,5–2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Angebotsszenario 1: HHI = 2.886</p>	<p>Angebotsszenario 1 HHI = 2.886</p>		
	<p>Angebotsszenario 1: GLR = 0,97</p>	<p>Angebotsszenario 1 GLR = 0,97</p>		
	<p>Angebotsszenario 2: HHI = 2.447</p>	<p>Angebotsszenario 2 HHI = 2.447</p>		
	<p>Angebotsszenario 2: GLR = 0,84</p>	<p>Angebotsszenario 2 GLR = 0,84</p>		

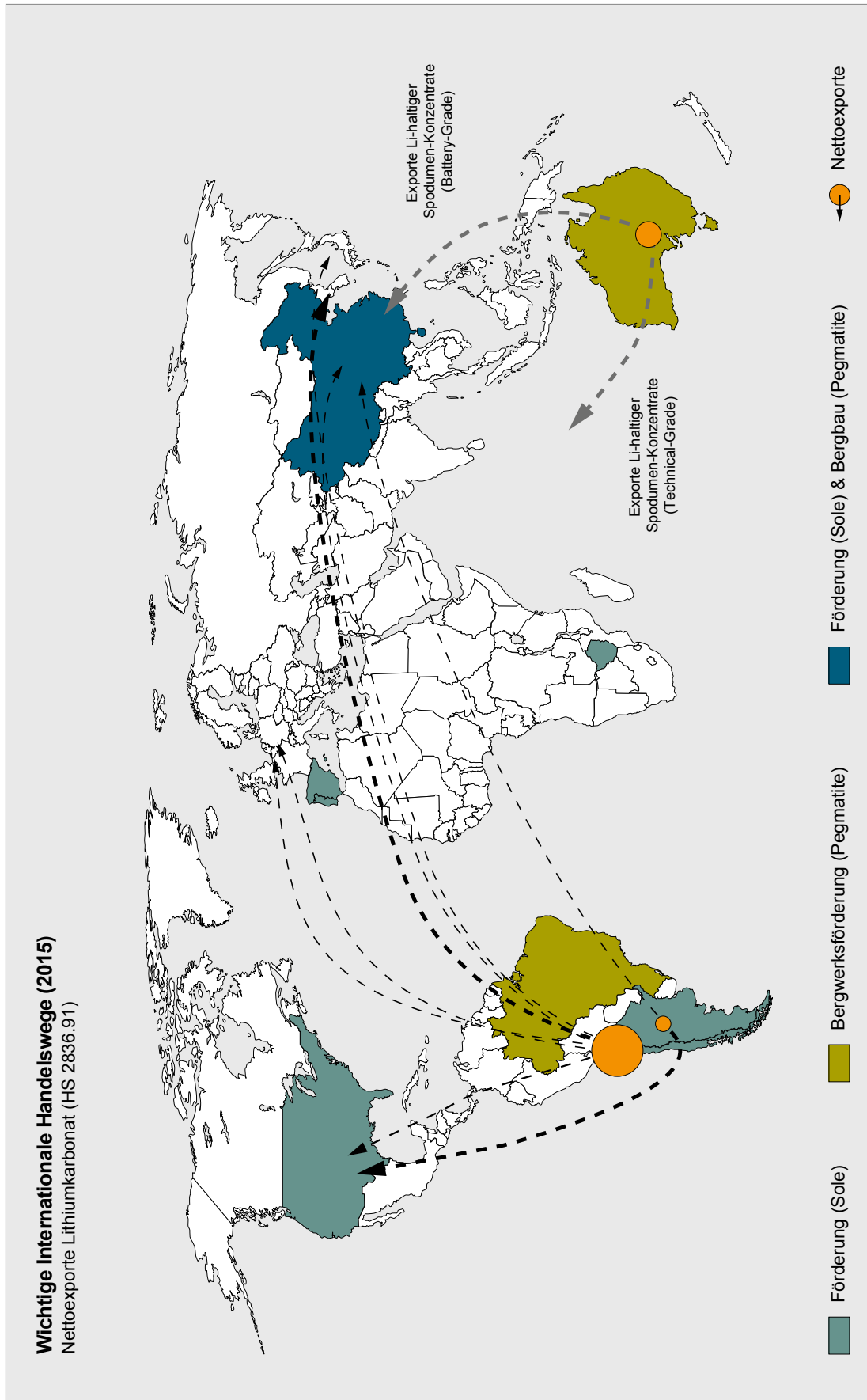
Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2015)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Angebots- und Nachfragetrends				
<p>Zukünftige Marktdeckung (Mz) bis 2025:</p> <p>Quotienten aus einer angenommenen Nachfrage zu einem angenommenen Angebot im Jahr 2025.</p> <p>Mz gibt den Anteil von Angebotsüberschuss oder -defizit in Prozent an</p>	<p>Angebotsszenario 1:</p> <p>Mz = 23,3 % (a) Mz = 9,0 % (b) Mz = -25,8 % (c)</p>	<p>Angebotsszenario 1 Mz = 23,3 % (a)</p> <p>Angebotsszenario 1 Mz = 9,0 % (b)</p> <p>Angebotsszenario 1 Mz = - 25,8 % (c)</p>		
	<p>a: Nachfragewachstum 7,3 % pro Jahr b: Nachfragewachstum 9,2 % pro Jahr c: Nachfragewachstum 12,8 % pro Jahr</p>			
	<p>Angebotsszenario 2:</p> <p>Mz = 43,8 % (a) Mz = 33,3 % (b) Mz = 7,8 % (c)</p>	<p>Angebotsszenario 2 Mz = 43,8 % (a)</p> <p>Angebotsszenario 2 Mz = 33,3 % (a)</p> <p>Angebotsszenario 2 Mz = 7,8 % (b)</p>		
	<p>a: Nachfragewachstum 7,3 % pro Jahr b: Nachfragewachstum 9,2 % pro Jahr c: Nachfragewachstum 12,8 % pro Jahr</p>			
	<p>Bewertungsskala: < 0 % = <i>bedenklich</i> 0 % – 10 % = <i>mäßig</i> > 10 % = <i>unkritisch</i></p>			

Glossar

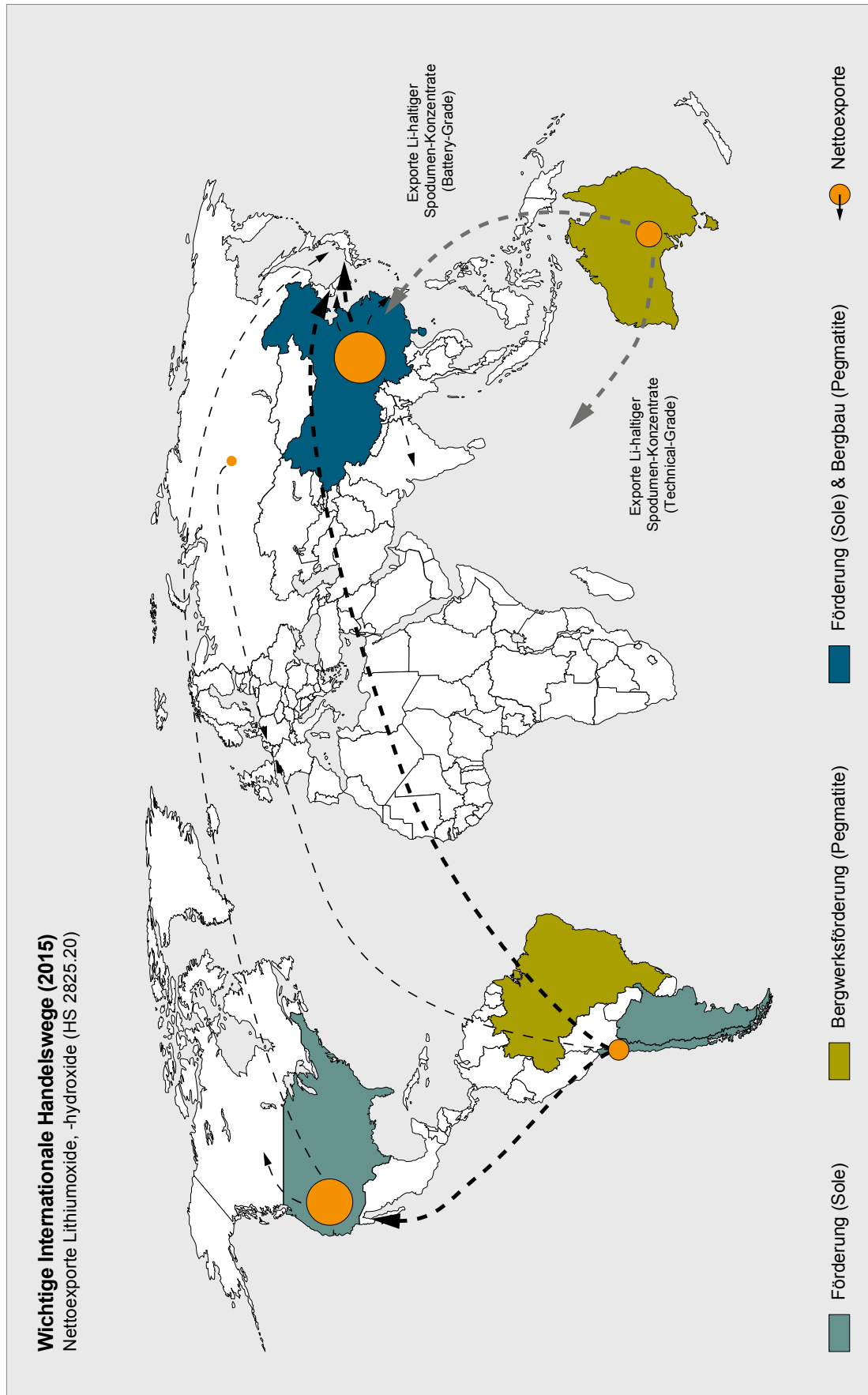
Diversifizierung der Importe	Die Diversifizierung der Importe errechnet sich mithilfe des HHI, wobei die mengenmäßigen Anteilswerte am Import auf Länderebene herangezogen werden.
Firmenkonzentration	Die Firmenkonzentration wird mithilfe des HHI berechnet, wobei Anteilswerte an der weltweiten Gesamtproduktion der Bergbaufirmen herangezogen werden.
Gewichtetes Länderrisiko	Das gewichtete Länderrisiko (GLR) errechnet sich aus der Summe der Anteilswerte der Länder an der Produktion, dem Nettoexport oder dem deutschen Import, multipliziert mit dem Länderrisiko (LR). Das gewichtete Länderrisiko liegt in einem Intervall zwischen +2,5 und –2,5. Bei Werten über 0,5 wird das Risiko als niedrig eingestuft, zwischen +0,5 und –0,5 liegt ein mäßiges Risiko vor und Werte unter –0,5 gelten als kritisch.
Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)	Der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) ist eine Kennzahl, welche die unternehmerische Konzentration in einem Markt angibt. Sie wird durch das Summieren der quadrierten Marktanteile aller Wettbewerber errechnet. Die Bewertungsskala für den HHI richtet sich nach den Vorgaben des U. S. Department of Justice und der Federal State Commission, die einen Markt bei einem HHI unter 1.500 als gering und zwischen 1.500 und 2.500 Punkten als mäßig konzentriert definieren. Bei einem Indexwert über 2.500 gilt ein Markt als hoch konzentriert.
Länderkonzentration	Die Länderkonzentration wird mithilfe des HHI berechnet, wobei jahresbezogene Anteilswerte der Bergwerksförderung, der Raffinadeproduktion oder der weltweiten Nettoexporte auf Länderebene herangezogen werden.
Länderrisiko	Das Länderrisiko (LR) ergibt sich aus dem Mittelwert der sechs „Worldwide Governance Indicators“ der Weltbank, die jährlich die Regierungsführung von über 200 Staaten weltweit bewertet. Gemessen werden (1) Mitspracherecht und Rechenschaftspflicht, (2) politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt, (3) Leistungsfähigkeit der Regierung, (4) Regulierungsqualität, (5) Rechtsstaatlichkeit und (6) Korruptionsbekämpfung.
Lebensdauer-kennziffer	Die Lebensdauer-kennziffer ergibt sich aus dem Quotienten der derzeitigen Reserven und der aktuellen Weltbergwerksförderung. Die Lebensdauer-kennziffer (statische Reichweite) gibt einen Hinweis auf den Stand der Exploration und darüber, in welchem Maße zukünftig Explorationsaktivitäten notwendig sind. Die Kennziffer sagt nichts über den Erschöpfungszeitpunkt eines Rohstoffes aus.
Marktdeckung	Die Marktdeckung ergibt sich aus dem Quotienten der Nachfrage (Raffinadeverbrauch) und des Angebots (Raffinadeproduktion).
Nettoexporte	Unter Nettoexporten versteht man die Differenz von Exporten und Importen einer Volkswirtschaft. Nettoexporte können sowohl positive als auch negative Werte annehmen. Im Rahmen der Studie wurden für die einzelnen Handelsprodukte die positiven Nettoexporte ($NX > 0$) verwendet, da der Fokus auf der Angebotsseite liegt. Negative Nettoexporteure sind hingegen Verbraucherländer (Nettoimporteure) der jeweiligen Rohstoffe. Die Summe der positiven Nettoexporte stellt dementsprechend die in den internationalen Handel gelangte Produktionsmenge dar.

Recyclingrate (EOL-RR)	Die End-of-Life-Recyclingrate (EOL-RR) ist der Quotient aus der Menge des dem Recycling zugeführten Altschrotts eines Rohstoffs und der Gesamtmenge des theoretisch in den End-of-Life-Produkten angefallenen Rohstoffs.
Reserven	Reserven sind die zu heutigen Preisen und mit heutiger Technik wirtschaftlich gewinnbaren Rohstoffmengen.
Wachstumsraten CAGR	Wachstumsraten basieren auf der jährlichen durchschnittlichen Wachstumsrate (engl.: Compound Annual Growth Rate, CAGR). Diese stellt den durchschnittlichen Prozentsatz dar, um den der Anfangswert einer Zeitreihe auf hypothetische Folgewerte für die Berichtsjahre wächst, bis der tatsächliche Endwert der Zeitreihe erreicht ist. Tatsächliche Ausschläge der Folgejahre in der Zwischenzeit wirken sich dabei nicht aus.
Zukünftige Marktdeckung	Die zukünftige Marktdeckung ergibt sich aus dem Quotienten der zukünftigen Nachfrage und des zukünftigen Angebots. Für das zukünftige Angebot sowie die zukünftige Nachfrage werden jeweils zwei Szenarien erstellt. Das zukünftige Angebot errechnet sich aus der Summe der derzeitigen Bergwerksförderung und einer zusätzlichen Jahresförderkapazität aus neuen Bergbauprojekten.

Internationaler Handel (Nettoexporte)



Internationale Handelswege 2015 (Nettoexport Lithiumkarbonat) (Datenquelle: GTIS 2017).



Internationale Handelswege 2015 (Nettoexport Lithiumoxid, -hydroxid) (Datenquelle: GTIS 2017).





**Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**

Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
dera@bgr.de
www.deutsche-rohstoffagentur.de

ISBN: 978-3-943566-95-6 (Druckversion)
ISBN: 978-3-943566-96-3 (PDF)
ISSN: 2193-5319