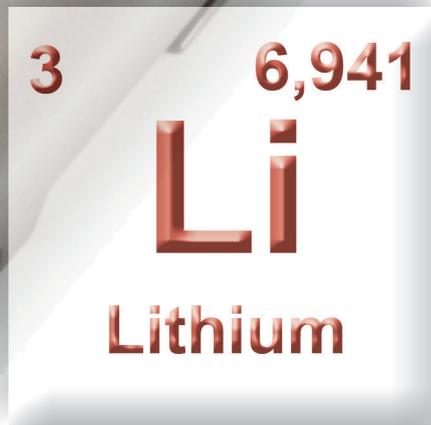


Lithium

Informationen zur Nachhaltigkeit



AUF EINEN BLICK

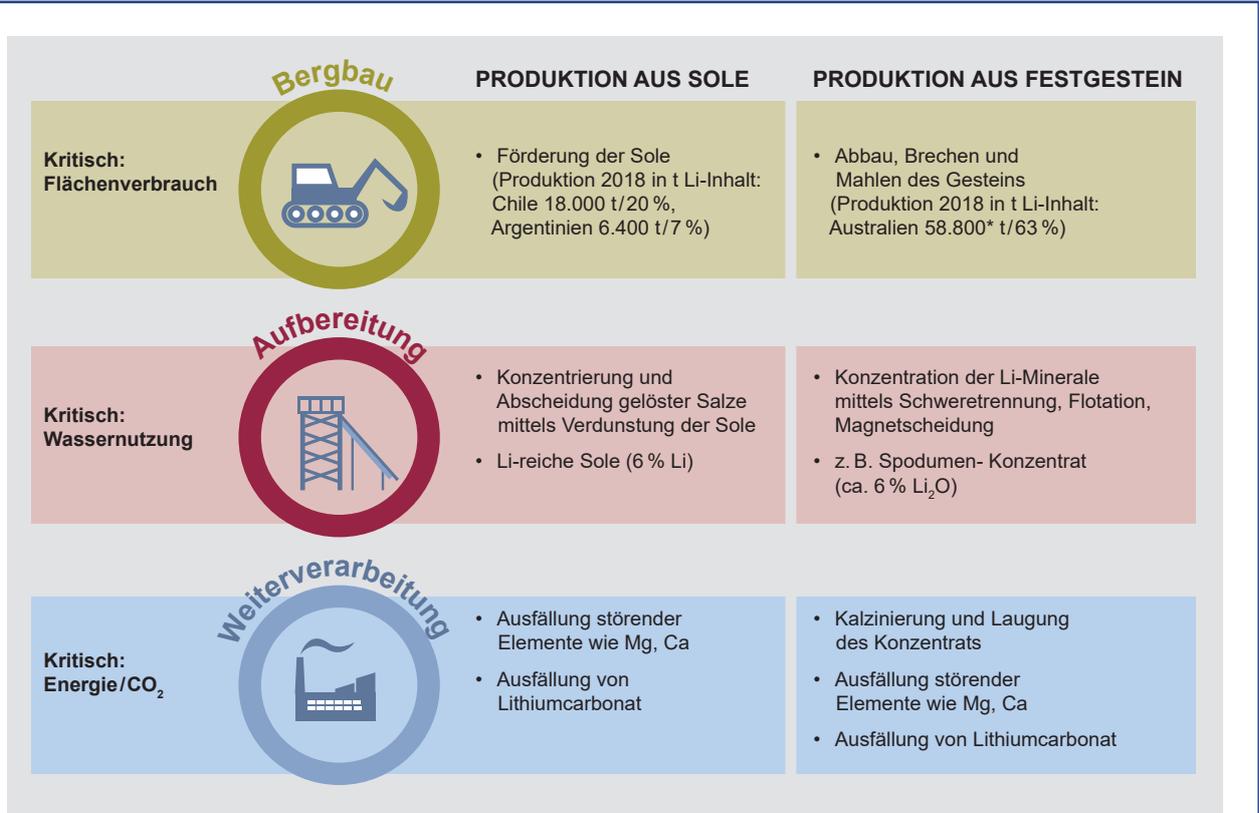


Abb. 1: Bergbau, Aufbereitung und Weiterverarbeitung (bis Lithiumcarbonat) dargestellt für Lithium aus Solen und Festgestein sowie kritische Punkte aus Nachhaltigkeitsicht.

- Als zentrales Element von Lithiumionenakkus (LIBs) ist Lithium für die Elektromobilität und mobile elektronische Geräte unverzichtbar und es wird von einer steigenden Nachfrage ausgegangen.
- Die größte Wertschöpfung liegt in der Weiterverarbeitung des Lithiumcarbonats und anderer Rohstoffe in den Batterien.
- Aufbereitungs- und Weiterverarbeitungsschritte bei der Gewinnung und Verarbeitung zu Lithiumcarbonat unterscheiden sich jeweils für die Gewinnung aus Salaren (v. a. Chile und Argentinien) oder aus Festgestein (v.a. Australien).
- Der Hauptteil (88 % der Weltproduktion [1]) der aktuellen Produktion erfolgt vor allem in Ländern, die eine vergleichsweise gute Regulierung des Bergbausektors haben.
- Bei der Produktion aus Salaren steht besonders der Wasserverbrauch in der Diskussion, da rund 200 – 1000 m³ Sole gefördert werden müssen, um 1 t Lithiumcarbonat zu produzieren.
- Recycling kann momentan und wahrscheinlich auch in der mittleren Zukunft nur einen vergleichsweise geringen Teil zur Deckung des Bedarfs beitragen.

INHALT

1. Relevanz von Lithium	S. 3
2. Von der Lagerstätte zum Rohstoff	S. 3
3. Recycling	S. 7
4. Nachhaltigkeitsaspekte des Bergbaus und der Aufbereitung von Lithium	S. 8

1 RELEVANZ VON LITHIUM

Der klassische Einsatz von Lithium lag bis in die 1990er Jahre in der Glas- und Keramikindustrie sowie bei der Produktion von Schmierstoffen. Die eingesetzten Mineralkonzentrate bestehen dabei meistens aus dem Mineral Spodumen oder aus dem Mineral Petalit.

In der Glas- und Keramikindustrie setzt Lithium den Schmelzpunkt herab. Außerdem wird die Viskosität reduziert, was die Verarbeitungsfähigkeit der Glasschmelzen erhöht. Zusätzlich erhöht Lithium als Beimischung die Härte und Beanspruchungsfähigkeit der Gläser, die hohen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind und vor zu schnellem Bruch geschützt werden müssen, z. B. bei Kochfeldern.

Lithium wird ebenso als Legierungsmetall eingesetzt, wobei die Legierungsanteile relativ gering sind. In der Legierung wirkt es sich insbesondere auf Gewicht und Festigkeit deutlich positiv aus. Momentan liegt die Hauptanwendung von Lithium mit stark steigender Tendenz in Lithiumionenakkumulatoren (LIBs). Damit ist es derzeit unverzichtbar für die Ziele der Energiewende. Aus der DERA-Studie [2] wurde abgeleitet, dass der Lithiumbedarf im Jahr 2025 nach einem durchschnittlichen Bedarfsanstieg bei ca. 80.000 t/a für die Batterieproduktion und weitere Anwendungen liegen wird (Abb. 2). Wichtigster Wachstumstreiber bei der Verwendung von LIBs ist die Elektromobilität, die bereits in den Jahren von 2015 bis 2019 einen deutlichen Zuwachs zeigt (Abb. 3). Schon heute zeigt sich, dass die Prognosen aus 2017 für das Jahr 2025 übertroffen werden.

Lithium stellt bei den aktuellen Batterietechnologien aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften einen un-

verzichtbaren Bestandteil dar. Es wird in den Akkumulatoren im Elektrolyt sowie in der Anode und der Kathode eingesetzt. Die disperse Verteilung in der Batterie erschwert jedoch deren Recycling. Lithium hat von allen Metallen das höchste elektrochemische Potenzial (-3,05 V) sowie die höchste gewichtsspezifische Kapazität (3.860 Ah/kg). Die Energiedichte von LIBs ist im Vergleich zu anderen Batterietypen mit ca. 250 Wh/kg am höchsten, die Zyklenlebensdauer die längste, der Temperatureinsatzbereich der weiteste und die Selbstentladerate mit 1 – 2 % pro Jahr die niedrigste [5].

2 VON DER LAGERSTÄTTE ZUM ROHSTOFF

Bei der Produktion von Lithium(carbonat) werden zwei Produktionsprozesse unterschieden (Abb. 1):

- 1.) Abbau aus Festgestein und Anreicherung in Konzentraten
- 2.) Gewinnung aus lithiumhaltigen Solen (Salaren)

Aus den lithiumhaltigen Solen (Salare) oder Konzentraten (Pegmatite) wird anschließend meistens Lithiumcarbonat gewonnen (teilweise auch direkt Lithiumhydroxid), welches dann weiterverarbeitet wird.

Bis vor einigen Jahren dominierte Chile den Lithiummarkt mit durchschnittlich 42% der Weltproduktion (2000 – 2016). Die Produktion ist in diesem Zeitraum von 6.500 t auf 14.500 t Lithium (Li-Inhalt) gestiegen. Im gleichen Zeitraum steigerte Australien die Produktion von knapp 2.000 t auf 16.000 t. Durch sehr starke Investitionen in den australischen Sektor, ausgelöst

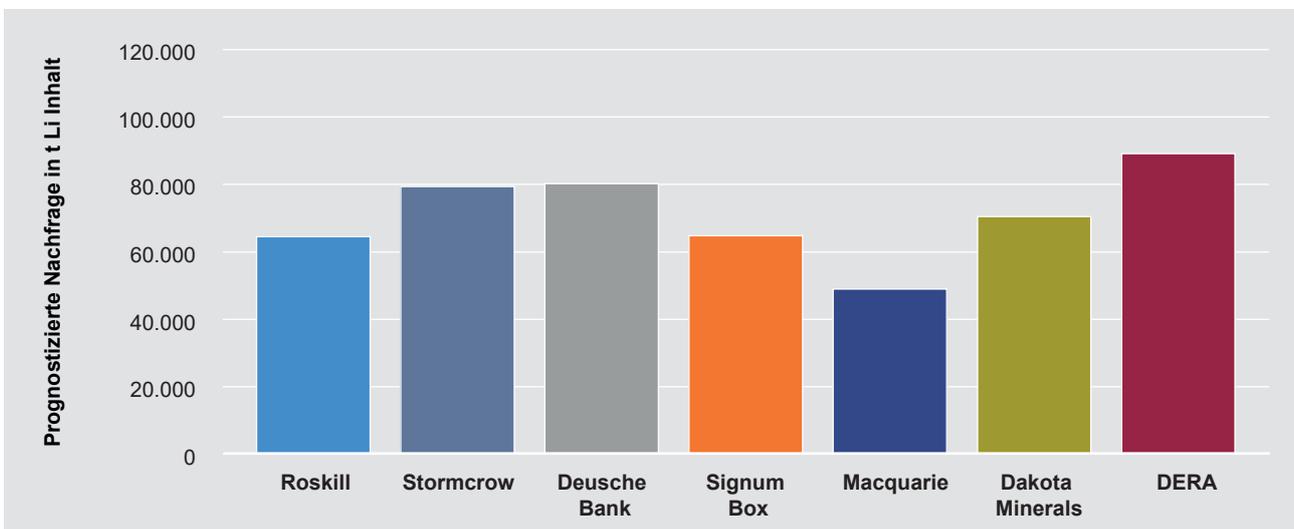


Abb. 2: Prognostizierte weltweite Nachfrage nach Lithium im Jahr 2025. Die Prognosen der verschiedenen Firmen und Organisationen stammen aus dem Jahr 2017 [2].

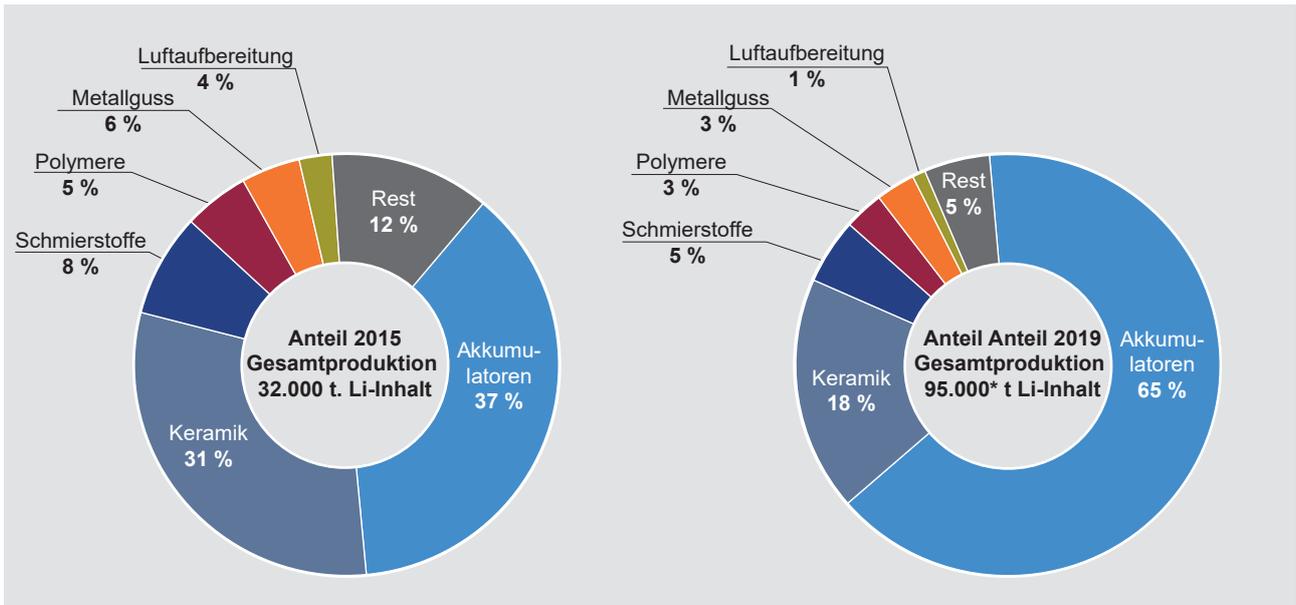


Abb. 3: Anteil von Akkumulatoren am Gesamteinsatz von Lithium in den Jahren 2015 und 2019 [3,4].

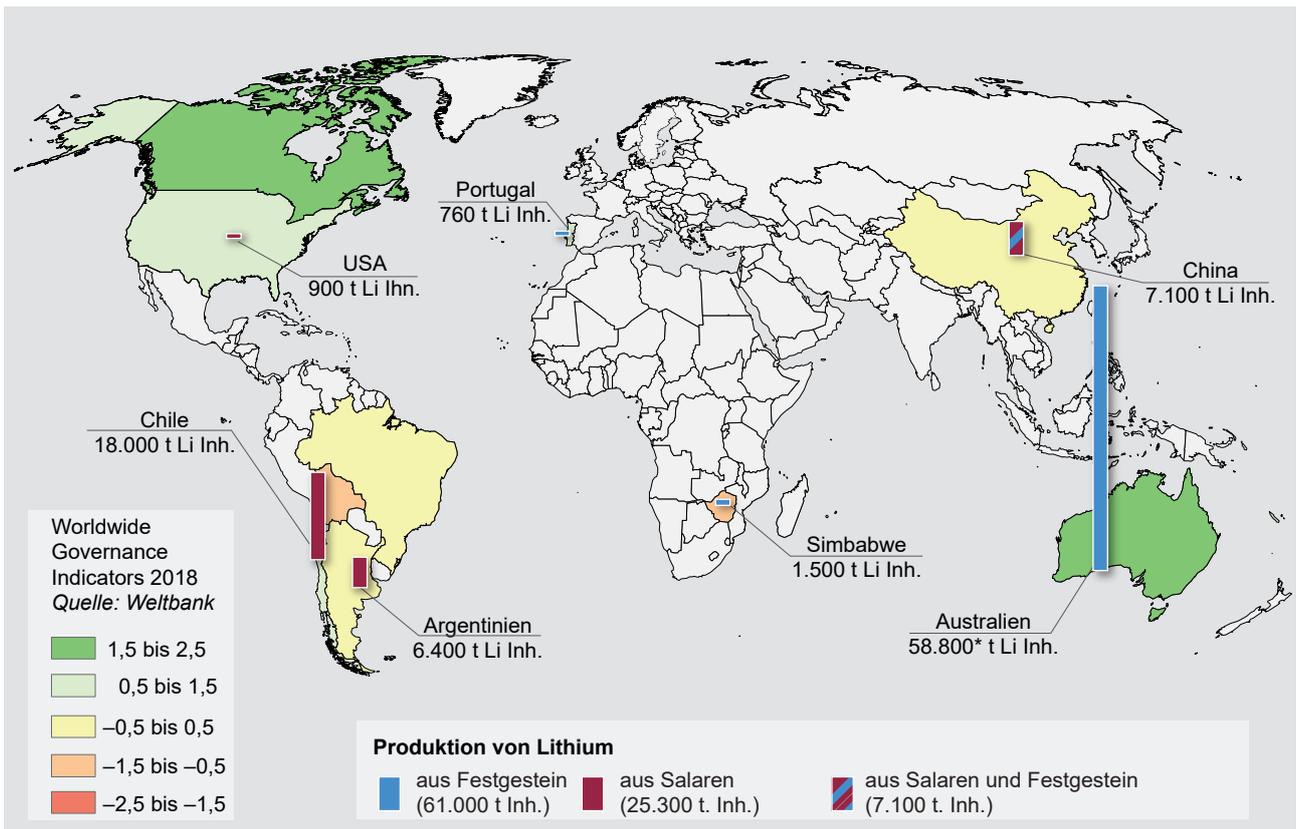


Abb. 4: Hauptproduktionsländer von Lithium aus Festgestein und aus Salaren im Jahr 2018 sowie Governance [6] der Produktionsländer.

durch den steigenden Bedarf und steigende Preise, wuchs die Produktion in den Jahren 2017 und 2018 auf fast 60.000* t Lithium an. Dadurch ging der chilenische Anteil an der Weltproduktion auf 20 % zurück, während der von Australien auf 63 % gestiegen ist (Abb. 4).

Die größten Lithium-Reserven sind in Salaren im sogenannten Lithiumdreieck zwischen Südbolivien, Nordchile und Nordwestargentinien zu finden.

Australien verfügt zurzeit über die weltweit größte Produktionskapazität. Hier werden Pegmatite, also Fest-

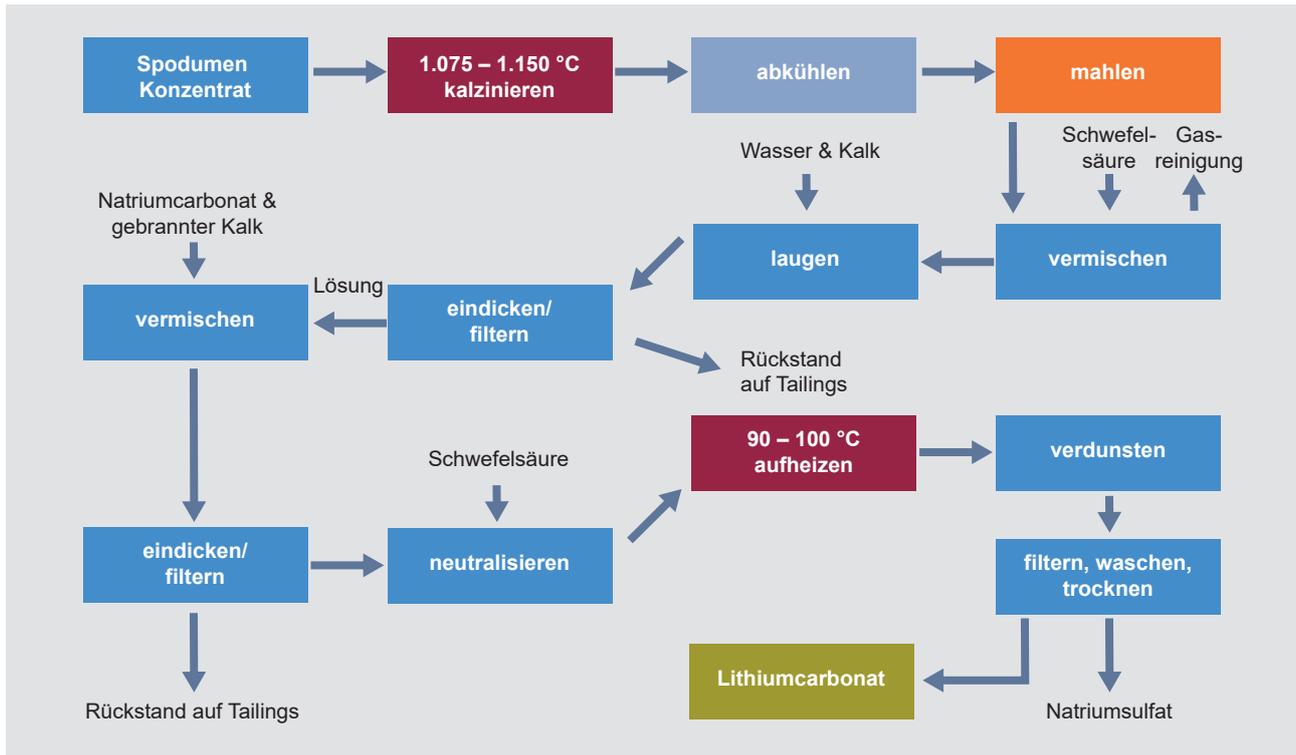


Abb. 5: Schema der Aufbereitung eines Spodumenkonzentrats zu Lithiumcarbonat nach dem Acid-Roast Prozess [7].

gestein, zumeist im Tagebau, abgebaut. Lithium-Pegmatite kommen weltweit vor, jedoch sind Gehalte und Tonnage in Australien größer als in den meisten anderen Gebieten der Welt. Weitere bedeutende Lagerstätten existieren u. a. in Simbabwe, der Demokratischen Republik Kongo, Portugal, China und Brasilien. Wichtige Nebenprodukte des Lithiumbergbaus sind Tantal und Zinn.

Pegmatite entstehen aus den noch nicht kristallisierten Restschmelzen von granitischen Intrusionen. Es handelt sich um extrem grobkörnige Gesteine, die neben Quarz und Feldspäten eine Reihe von Elementen enthalten können, die nicht in das Kristallgitter der meisten Minerale passen. Zu diesen Elementen zählt unter anderem Lithium. Dieses wird in einigen Pegmatiten in verschiedene Minerale eingebaut. Die wirtschaftlich wichtigsten sind Spodumen, Petalit und Lepidolith.

Das Gestein wird im klassischen Abbau mit Sprengen und Laden gewonnen und danach von der Grube zur Aufbereitungsanlage transportiert. Anschließend wird das Gestein gebrochen und gemahlen. Um ein verkaufsfähiges Produkt mit entsprechendem Gehalt an Lithium und geringen Verunreinigungen zu erhalten, müssen Anreicherungsverfahren eingesetzt werden, die das Lithium konzentrieren. Zu den häufig verwendeten Anreicherungsverfahren zählen u.a. die Dichtesortierung, die Flotation und die Magnetscheidung. Das erhaltene Mineralkonzentrat wird je nach Reinheit

in unterschiedliche Qualitäten unterteilt, wobei die Kategorie „Battery Grade“ die höchste Reinheit angibt. Die Kategorie „Technical Grade“ kann einen gewissen Grad an störenden Elementen enthalten. Die Qualität „Battery Grade“ wird hauptsächlich zur Weiterverarbeitung in LIBs eingesetzt, während die Qualität „Technical Grade“ hauptsächlich in der Glas- und Keramikindustrie eingesetzt wird.

Für die Herstellung des Lithiumcarbonats aus dem Konzentrat muss das Lithium aus den Mineralen gelöst werden. Dies geschieht hauptsächlich im Acid-Roast-Process (Abb. 5). Dabei wird das Konzentrat (in diesem Fall Spodumen) bei ca. 1.100 °C gebrannt, um die Minerale umzuwandeln, damit sie in Schwefelsäure löslich sind. Durch Zugabe von zunächst Calciumcarbonat und anschließend Soda werden unerwünschte Elemente wie Eisen, Mangan, Aluminium und Calcium entfernt und anschließend Lithiumcarbonat (99,3% Reinheit; Technical Grade) ausgefällt. Um die Reinheit weiter zu erhöhen (auf 99,5%; Chemical Grade) werden Ionenaustauscher eingesetzt [7].

Um das Lithium in der Batterieproduktion einsetzen zu können, und Batteriezellen zu fertigen, wird das Lithiumcarbonat noch in einem weiteren Prozess zu Lithiumhydroxid umgewandelt.

Bei der Gewinnung aus Salaren wird eine Sole mit einem Salzgehalt von rund 300 g/l gefördert [7]. Dieser



Abb. 6: Verdunstungsbecken zur Konzentrierung und Reinigung von lithiumhaltiger Sole der Firma Albemarle im Salar de Atacama, Chile, Foto: BGR.

Salzgehalt ist mehr als achtmal so hoch wie der von Meerwasser (35 g/l). In den Solen sind v. a. Chlorid sowie Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, Lithium und weitere Elemente gelöst [8, 9]. Der Lithiumgehalt der Sole schwankt zwischen 10 mg pro kg und 2.000 mg pro kg [10]. Die wirtschaftliche Gewinnbarkeit (Bauwürdigkeitsgrenze) liegt für die meisten Salare bei mindestens 600 – 700 mg Li pro kg. Die chinesischen Vorkommen liegen mit 100 – 400 mg pro kg jedoch deutlich darunter, genau wie die Lagerstätte Clayton Valley in den USA, wo der Gehalt bei rund 200 mg pro kg liegt [2, 7]. Der Abbau von Lagerstätten mit einem deutlich niedrigeren Lithiumgehalt als 600 mg pro kg kann wirtschaftlich sein, wenn weitere Nebenprodukte aus den Solen gewonnen werden können oder kaum störende Elemente vorhanden sind. Aber auch die Infrastruktur und das Klima spielen für die Nutzung der Salare eine wichtige Rolle. Das Lithium aus den Solen in den Salaren stammt ursprünglich aus Gesteinen des Untergrundes und wurde in abflusslosen Becken angereichert. Die Gewinnung erfolgt über die Förderung der lithiumhaltigen Sole (Lithiumgehalt bis zu 0,2%, Salzgehalt bis über 30%). Die Sole wird dann über hintereinander geschaltete Verdunstungsbecken geleitet, wobei die Becken so konstruiert sind, dass idealerweise nur ein verkaufsfähiges Salz pro Becken kristallisiert (Abb. 6). Die Abscheidungsreihenfolge verläuft im Normalfall folgendermaßen:

Gips (Calciumsulfat) → Steinsalz (Natriumchlorid) → Kalisalz (Kaliumchlorid) → Carnallit (Kalium-Magnesiumchlorid) → Bischofit (Magnesiumchlorid) → Li-reiche Sole (6% Li).

Die Sole ist durch die Verdunstung des Wassers am Ende dieser Ausfällungsschritte mit Lithium angereichert und wird anschließend in einer chemischen Anlage zu Lithiumcarbonat weiterverarbeitet. Dazu wird in einem ersten Schritt zunächst Bor mittels Solvent-Extraktion entfernt. Am Ende werden das restliche Magnesium und Sulfat mit gebranntem Kalk (CaO) und Soda (Na₂CO₃) ausgefällt. Anschließend wird Lithium als Carbonat aus der nun reinen, angereicherten Flüssigkeit gewonnen. Durch weitere Waschschrte und den Prozess des Ionenaustausches kann die Reinheit auf „Battery Grade“ gesteigert werden [7].

Die Datenverfügbarkeit gerade für das Ausbringen (Anteil des Lithiums, der aus der Sole gewonnen wird) ist schwierig, weil viele Firmen diese nicht veröffentlichen. Die Firma SQM, die im chilenischen Salar de Atacama produziert, macht jedoch Angaben, u. a. in ihrem Jahresbericht 2018 [12], die hier als Beispiel herangezogen werden. Ausgehend von einem Lithiumgehalt von 2.000 ppm in der Sole (entspricht 0,2% oder 2 kg/m³) würden bei einem Ausbringen von im Mittel 35% rund 1.400 m³ Sole benötigt, um eine Tonne Lithium zu produzieren (bzw. ca. 270 m³ Sole für eine Tonne Lithiumcarbonat).

Entscheidend für die Rentabilität sind aber nicht nur der Lithiumgehalt, sondern auch das Verhältnis von z. B. Lithium zu Magnesium bzw. von Lithium zu Sulfat sowie die klimatischen Verhältnisse. Aufgrund der für die Konzentration des Lithiums und die Ausfällung anderer Elemente notwendigen Verdunstung ist ein sehr arides Klima notwendig.

Die Effektivität des sehr langsamen Verdunstungsprozesses, der von der Förderung der Sole bis zur finalen Konzentration des Lithiums 2 Jahre andauern kann, wird von der Sonneneinstrahlung, dem Wind und den Niederschlägen und deren jahreszeitlichen Schwankungen beeinflusst. Es gibt kaum technische Möglichkeiten zur Verbesserung der Verdunstung. Selbst in dem beschriebenen, extrem trockenen Bereich der Salare Südamerikas gibt es noch relativ große Unterschiede. So liegt die Verdunstung im Salar de Atacama in Chile, wo sich die beiden größten Produktionsanlagen für Lithium aus Salaren befinden, bei etwa 3.200 mm pro Jahr. Östlich des Hauptkamms der Anden, auf der argentinischen Seite, liegt die Evaporation bei „nur“ 2.300 mm pro Jahr (Salar de Hombre Muerto) und im Clayton Valey in den USA bei 1.800 mm pro Jahr [7]. Die Effektivität der Lithiumproduktion aus Salaren wird maßgeblich von der Zusammensetzung der Sole bestimmt. Zunächst ist die Ausgangskonzentration von Lithium in der Sole ein entscheidender Faktor. Weiterhin sind aber auch die außer Lithium vorhandenen Elemente relevant. Natrium, Kalium und z. T. auch Sulfat lassen sich relativ gut aus der Sole ausfällen. Dies ist bei Magnesium wesentlich schwieriger, weil die chemischen Eigenschaften von Magnesium und Lithium sehr ähnlich sind. Um Magnesium zu entfernen, wird im Normalfall Kalk eingesetzt. Je mehr Magnesium vorhanden ist, desto mehr Kalk muss eingesetzt werden, was zusätzliche Kosten verursacht. Außerdem geht bei der Ausfällung ein Teil des Lithiums verloren. Daher wird der Prozess ab einem gewissen Magnesium/Lithium-Verhältnis unwirtschaftlich. Das Ausbringen von Lithium aus der ursprünglichen Sole liegt bei den meisten Salaren bei rund 50 – 70% [7, 11]. Die Datenlage hierzu ist aber unsicher, weil kaum Zahlen von den wenigen Betreibern veröffentlicht werden. Die chilenische Firma SQM, die im Salar de Atacama Lithiumcarbonat produziert, gibt in ihrem Geschäftsbericht von 2018 an, dass das Gesamtausbringen bis zum Lithiumcarbonat bei lediglich 28 – 40% liegt [12].

Je nach Ausgangszusammensetzung der Sole können neben Lithium auch Kalium- und Magnesiumdünger produziert werden. So leisteten diese z. B. bei SQM in Chile einen hohen Beitrag zum wirtschaftlichen Gesamtergebnis. Der Umsatz, der mit Kaliumchlorid erzielt wurde, betrug ca. 1/3 der Lithiumumsätze [12].

Neben der momentan angewendeten Technologie der Konzentration von Solen durch Verdunstung, gibt es Bestrebungen andere Verfahren für die Anreicherung von Lithium aus Salaren anzuwenden. Dadurch soll der Soleverbrauch reduziert und die Wirtschaftlichkeit erhöht werden. Untersucht wird auch die Nutzung salinärer Wässer aus Ölbohrungen oder aus der Geothermie. Dies trifft z. B. auf das Geothermieprojekt der Firma Vulcan Energy Resources im Oberrheintalgraben [13] zu, wo neben geothermischer Energie auch Lithium gewonnen werden soll. Das für die Geothermienutzung geförderte Wasser enthält Lithium, das abgetrennt und so gewonnen werden soll. Die Gehalte sind allerdings mit weniger als 200 mg/l gering [13]. Daher soll hier ein Verfahren eingesetzt werden, bei dem ein organisches Lösungsmittel das Lithium selektiv aus der Sole extrahiert [7, 14, 15, 16], oder Ionenaustauscher [16], die selektiv Lithium anreichern. Eine weitere Möglichkeit, an der im Moment geforscht wird, besteht im Einsatz von Nano-Membranen, um Lithium unter hohem Druck anzureichern [17].

Durch den steigenden Bedarf an Lithium wird in Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit sowohl mehr Lithium aus Salaren als auch aus Pegmatiten gewonnen werden. Es ist anzunehmen, dass die Produktion aus Pegmatiten stärker steigen wird als die aus Salaren, weil das direkt verfügbare Potenzial größer ist und der Prozess der Gewinnung mit geringeren Risiken, wie erhöhten Niederschlägen, Verunreinigungen der Sole oder zu geringem Ausbringen, verbunden ist.

3 RECYCLING

Recycling ist zurzeit noch kein wichtiger Faktor bei der Lithiumproduktion. Zum einen ist die für das Recycling verfügbare Menge an lithiumhaltigem Material noch relativ gering, zum anderen ist das Recycling im Vergleich zum Bergbau relativ teuer [18]. Hinzu kommt, dass Lithium in LIBs nicht als reines Metall verarbeitet wird, sondern zusammen mit anderen Komponenten, z. B. in der Anode, verbaut wird, die sich nicht ohne weiteres trennen lassen.

Weitherhin stehen Akkumulatoren in Elektroautos dem Recycling aufgrund ihrer Lebensdauer und einer möglichen anschließenden Verwendung als stationärer Speicher noch nicht zur Verfügung. Es gibt aber bereits Konzepte und Versuchsanlagen, um einen möglichst großen Anteil der Akkumulatoren wiederzuverwenden. Dies betrifft nicht nur Elektroautos, sondern auch Batterien aus mobilen Geräten wie Smartphones oder Laptops. Liegt eine Anwendung in der Glas- bzw. Keramik-

industrie oder in Schmiermitteln vor, handelt es sich um Verbrauchsgüter. Hier kann lediglich versucht werden, das Glas möglichst sortenrein zu sammeln und erneut einzuschmelzen, um die Eigenschaften des Lithiums erneut zu nutzen. Schmiermittel lassen sich nicht wiederverwerten, da das Element hier in sehr geringen Mengen verteilt vorliegt.

Gesetzliche Vorgaben wie die Europäische Batterierichtlinie 2006/66/EC, die WEEE-Richtlinie 2012/19/EU (Waste of Electric and Electronic Equipment), die RoHS-Richtlinie 2011/65/EU (Restriction of Hazardous Substances) u. a. werden aber mittelfristig zum Ausbau des Recyclings führen [19]. Jedoch bestehen für Lithium sehr hohe Reinheitsanforderungen bei der LIBs-Anwendung, die es nach dem erfolgten Recycling erschweren, das Material erneut hierfür einzusetzen. Für das Recycling von LIBs ist zunächst eine manuelle Demontage und/oder eine mechanische Zerkleinerung vorgesehen. Anschließend können sortierte Komponenten einem Recycling für den jeweiligen Ziel-Wertstoff zugeführt werden. Für das nicht direkt trennbare Material, darunter auch die Lithium-haltigen Elektroden, können hydrometallurgische Verfahren (Laugung) oder pyrometallurgische Verfahren (Einschmelzen) bzw. eine nacheinander geschaltete Kombination beider Verfahrenswege eingesetzt werden. Die Firma Umicore betreibt in Hoboken (Belgien) eine Recyclinganlage, die für 7.000 t LIBs ausgelegt ist. Dies entspricht in etwa 250 Mio. Smartphones (je ca. 30 g) oder 35.000 Elektroautobatterien (je ca. 200 kg). Da der Metallwert (je Autobatterie ca. 10 – 12 kg Kobalt, Nickel und Mangan mit einem kombinierten Wert von ca. 590 EUR) in diesen Batterien den Lithiumwert (je Autobatterie ca. 4 kg mit einem theoretischen Wert von maximal 180 EUR) jedoch deutlich übersteigt, liegt der Fokus hier auf den wertvolleren Metallen. Der Wert des Lithiums ist hierbei nur theoretisch bestimmt worden, da, wie oben beschrieben, nur sehr reines Lithium für die Batteriezellenfertigung geeignet ist. Dies liegt nach dem Recycling der Batterien nicht direkt vor und müsste in weiteren, aufwendigen Prozessen hergestellt werden, was die Kosten entsprechend erhöhen würde. Da auch die Menge an Lithium, die in Zukunft eingesetzt werden wird, nur schwer abschätzbar ist, ist auch eine Prognose zum Recyclinganteil in der Zukunft schwierig. Nach einer Quelle aus dem Jahr 2011 [20] könnten im Jahr 2030, je nach Recyclingerfolg, 10 – 25 % des Lithiumbedarfs über den Sekundärsektor gedeckt werden.

4 NACHHALTIGKEITSASPEKTE DES BERGBAUS UND DER AUFBEREITUNG VON LITHIUM

Auch bei den Nachhaltigkeitsaspekten des Lithiumbergbaus muss zwischen Festgesteinsbergbau und der Lithiumgewinnung aus Solen in den Salaren unterschieden werden, weil die jeweiligen Prozesse mit sehr unterschiedlichen Auswirkungen verbunden sind.

4.1 Umweltaspekte

Flächenbedarf und Bergbaurückstände

Die Gewinnung aus **Festgestein** erfolgt aufgrund des relativ geringen Erzwertes bei allen größeren Bergwerken im Tagebau. Dabei müssen zuerst der Abraum und das taube Nebengestein entfernt werden. Dieses Gestein wird auf Halden abgelegt. Das Abraum-Erz-Verhältnis für Lithiumpegmatite liegt in der Regel im Bereich von 3:1 bis 10:1. Damit fallen rund 3 bis 10 Tonnen Abraum pro Tonne Erz an. In Einzelfällen kann das Verhältnis auch niedriger sein.

In humiden Gebieten, die landwirtschaftlich genutzt werden oder bewaldet sind, wie im Südwesten Australiens, sollten die Auswirkungen in Bezug auf die in Anspruch genommene Fläche so niedrig wie möglich gehalten werden.

Die Flächeninanspruchnahme ist in den ariden, kaum besiedelten Gebieten, wie im Norden Australiens, weniger problematisch. Dies schlägt sich auch bei der benötigten Fläche für 1 t Lithiumcarbonat nieder. Daten aus Feasibilitystudien und Unterlagen aus Lizenzbeantragungen, die von der Regierung von Westaustralien veröffentlicht werden zeigen, dass in der Mine Greenbushes, die in einem Gebiet mit gemäßigtem Klima liegt, lediglich 4 m² Fläche für die Produktion von 1 t Lithiumcarbonat benötigt werden, während die Bergwerke Pilgangoora und Mount Marion 12 – 13 m²/t Lithiumcarbonat benötigen. Dies hängt zum einen mit den sehr hohen Li-Gehalten in Greenbushes zusammen, aber zweifellos auch damit, dass die genehmigten Flächen in den semiariden Gebieten im Norden von Westaustralien wesentlich großzügiger beantragt und genehmigt wurden, weil der Einfluss auf die Natur und Nutzungskonflikte mit anderen Parteien wesentlich geringer sind. Zum Vergleich werden für die Produktion von 1 t Kupfer 3 – 4 m² Land benötigt und für die Produktion von Aluminium etwa 1 m²/t [21].

Der Flächenverbrauch auf den **Salaren**, hauptsächlich die angelegten Verdunstungsflächen, ist relativ groß, es liegen aber keine Daten für den Verbrauch pro Ton-

ne Lithiumcarbonat vor. Die Salare werden allerdings nicht genutzt, da es sich um extrem aride Salzflächen handelt. Diskussionen gibt es im Bereich der Salare um Flächen, die außerhalb der Verdunstungsbecken liegen. Hier geht es um die Auswirkungen der Förderung der Sole auf Süßwasserlagunen am Rand der Salare sowie um Befürchtungen, dass das Pumpen der Sole die Lagunen austrocknet und damit die Lebensgrundlage der dortigen Flora und Fauna zerstört. Indirekt könnte dies außerdem negative Auswirkungen auf den Tourismus haben.

Wasserbedarf

Beim **Festgesteinsabbau** wird zum Brechen und besonders zum Mahlen des Gesteins und auch für die anschließenden Anreicherungs-schritte (Dichtesortierung, Magnetscheidung, Flotation) Wasser benötigt. Als Produkte der Sortierung werden Erzkonzentrate (Li und andere Wertstoffe) produziert, die vor der Vermarktung noch entwässert werden. Die Abgänge der Aufbereitung werden in Absetzbecken (Tailings ponds) abgelagert. Nach dem Absetzvorgang der Feststoffe kann das Wasser zum Teil wiederverwendet werden, ein Teil wird jedoch als Poren- und Haftwasser in den Tailings verbleiben und macht in etwa 40 % des Volumens der Tailings aus. Dieser Wasserverbrauch ist in relativ humiden Gebieten, wie z. B. in Südwest-Australien beim Bergwerk Greenbushes, eher unproblematisch. Laut Betreiber wird hier ausschließlich Regenwasser für die Aufbereitung eingesetzt. In ariden Gebieten, wie der Region Pilbara im Norden Australiens, stellt die Wasserversorgung des Betriebs eine größere Herausforderung dar. Allerdings sind auch hier Wassernutzungskonflikte eher selten, da diese Region nur sehr dünn besiedelt ist und landwirtschaftlich nicht genutzt wird. Es wird teilweise fossiles Grundwasser genutzt, in einem Fall auch das Wasser aus einem vollgelaufenen, ehemaligen Tagebau, in den auch die Tailings abgelagert werden.

Sollte es zu Nutzungskonflikten um Wasser beim Festgesteinsbergbau kommen, ließe sich durch den Einsatz von Eindickern und Filterpressen zum Entwässern der Tailings eine Minimierung des Wasserverlustes erreichen, was derzeit aber für die meisten Projekte nicht vorgesehen ist. Die Restfeuchte liegt nach dem Einsatz von Filterpressen zwischen 15 und 25 %. Dies bedeutet allerdings immer noch, dass bei einem Erzdurchsatz von 5 Mio. t pro Jahr ca. 500.000 m³ Wasser benötigt werden, die nicht zurückgewonnen werden können. Laut Feasibilitystudie zum Bergwerk Pilgangoora von Pilbara Minerals [23] liegt der geplante Wasseranteil ohne den Einsatz von Filterpressen in den Tailings bei ca. 35 %, was bei einem Durchsatz von 5 Mio. t Erz etwa 875.000 m³ Wasser entspricht. Dies wären pro Jahr 375.000 m³ mehr, als beim Einsatz von Filterpressen.

Im Gegensatz zum Metallbergbau (Kupfer, Blei, Zink, Goldkonzentrate) tritt bei Lithium, das aus Pegmatiten gewonnen wird, gewöhnlich keine sulfidische Mineralisation auf, sodass eine Versauerung des Grund- oder Oberflächenwassers unwahrscheinlich ist.

Beim Abbau aus **Salaren** wird durch den Prozess der Verdunstung und fraktionierten Abscheidung verschiedener Salze bis zur endgültigen, gewünschten Konzentration des Lithiums relativ viel Wasser verbraucht (verdunstet). Es handelt sich jedoch um Salzwasser, das nicht als Trinkwasser nutzbar ist. Die Menge des Wassers, das verdunstet werden muss, hängt von der Ausgangskonzentration des Lithiums in der Sole und dem Ausbringen (Anteil der gewonnen wird) des Lithiums aus der Sole ab. Um den Lithiumgehalt (maximal 0,2 %) auf die für die Weiterverarbeitung benötigten 6 % zu erhöhen, ist jedoch eine Konzentration um mindestens den Faktor 30 nötig. Das bedeutet, dass ca. 97 % des Wassers verdunstet und nicht wieder in den Untergrund verbracht werden kann. Dadurch kommt es zur Absenkung des Salzwasserspiegels, v.a. in der Nähe der Förderbrunnen, Geschieht dies über längere Zeiträume und mit einer Vielzahl von Brunnen, so macht sich diese Absenkung auch regional bemerkbar. Unklar ist, wie groß die Absenkung durch die Lithiumgewinnung ist. Sollte die Absenkung des Salzwassers zu hoch sein, könnte Süßwasser nachströmen und sich mit dem Salzwasser mischen. In der Folge würden die Grundwasserstände des Süßwassers durch den Nachstrom absinken.

Das entnommene Wasser ist hochsalines Solewasser, das nicht für Menschen oder Tiere genutzt werden kann. Frischwasser wird hauptsächlich für die Produktion von Lithiumhydroxid benötigt, das aus Lithiumcarbonat gewonnen wird. SQM gibt an, dass insgesamt 26 m³ Frischwasser für 1 Tonne Lithiumhydroxid benötigt werden, wobei lediglich 1 m³ tatsächlich als Grundwasser gefördert wird und der Rest aus der Abwasseraufbereitung der Stadt Antofagasta stammt. Der tatsächliche Frischwasserbedarf ist also gering.

Im gesamten Einzugsgebiet des Salar de Atacama gibt es Wasserrechte über 4 m³/s an Frischwasser. Der Anteil von SQM beträgt 0,18 m³/s. Der Kupferbergbau im Einzugsgebiet des Salars de Atacama fördert 2,8 m³/s, also das 15fache. Hinzu kommt, dass SQM nicht nur Lithium, sondern auch Kalisalz und Bischofit produziert, bei denen für die Reinigung des Rohsalzes bis hin zum Endprodukt Wasser benötigt wird. Es wird also nicht das gesamte geförderte Wasser für die Lithiumproduktion verwendet.

Aufgrund der vielfältigen Diskussionen über die Wasserentnahme gibt es Konzepte, wie man die Lithiumgewinnung ohne die Verdunstung großer Wassermengen durchführen könnte. Durch die direkte Gewinnung mittels Solvent-Extraktion oder Ionenaustauscher [7] und die anschließende Re-Injektion in den Salar würde ein quasi geschlossener Kreislauf geführt werden. Damit wären keine großflächigen Absenkungen der Sole mehr zu verzeichnen. Dieselben Autoren geben jedoch zu bedenken, dass die Injektion von entsprechend großen Wassermengen nicht unproblematisch ist. Dabei muss vermieden werden, dass die eigentliche Lagerstätte mit dem reinjizierten, lithiumarmen Wasser verdünnt wird und somit die Wirtschaftlichkeit des Projektes sinkt bzw. die Lagerstätte unwirtschaftlich wird. Zusätzlich können durch die Solvent-Extraktion organische Verbindungen, die nicht komplett entfernt werden konnten, mit in den Untergrund verbracht werden. Solche Szenarien liegen allerdings noch in der Zukunft, da die entsprechenden Technologien derzeit noch nicht großtechnisch einsetzbar sind.

4.2 Soziale und sozioökonomische Bedeutung

Die Salare stellen als Becken, die tiefst gelegenen Gegenden der Umgebung dar. An den höher gelegenen Rändern der Salare liegen Grundwasserleiter mit Süßwasser, die für die Trinkwasserversorgung und die Bewirtschaftung der Felder der lokalen Bevölkerung genutzt werden. Durch die Förderung von Sole wird der Wasserstand lokal und zum Teil auch regional abgesenkt, durch eine Mischung von Salz und Süßwasser (siehe 4.1) kann so Wasser unbrauchbar für eine Nutzung für Menschen und die traditionelle Landwirtschaft durch die angrenzenden Gemeinden werden. Es gibt Berichte von sinkenden Grundwasserspiegeln und damit verbunden trockenfallenden Brunnen [24]. Dies führt zu Einschränkungen der indigenen Bevölkerung in ihrer traditionellen Lebensweise. Es ist allerdings komplex, den Einfluss des Lithiumabbaus auf den Grundwasserstand zu bemessen. Zum einen entnehmen die Lithiumproduzenten SQM und Albemarle nur einen kleinen Prozentsatz des süßen Grundwassers und zum anderen ist es wissenschaftlich äußerst schwierig, den Einfluss des abgesenkten Salzwassers auf das angrenzende Süßwasser zu messen. Neben der Wasserentnahme durch den Bergbau kann die Absenkung auch durch zurückgegangene Niederschläge zustande kommen [25]. Ausbleibende Niederschläge, die Süßwasserentnahme für die Kupferindustrie, ein erhöhter Wasserverbrauch durch den Tourismus und die Lithiumindustrie können außerdem dazu führen, dass Süßwasserlagunen austrocknen bzw. so stark

negativ beeinflusst werden, dass die teilweise endemische Fauna Schaden nimmt. Dies hätte wiederum Auswirkungen auf den Tourismus, denn die Flamingos sind eine der Hauptattraktionen des Salar de Atacama und des Salar de Uyuni. Ein Zusammenhang zwischen ausbleibenden Niederschlägen, der Wasserentnahme durch verschiedene Industrien und der Förderung von Salzwasser für die Lithiumproduktion ist nur äußerst schwer objektiv darzustellen.

Teile der ebenfalls in der Region ansässigen Kupferindustrie planen in Zukunft auf die Süßwasserentnahme aus dem Einzugsgebiet der Salare zu verzichten und entsalztes Meerwasser einzusetzen. Dies könnte den Wasserstress auf die Region mindern und so zur Beilegung der Konflikte beitragen.

Konflikte über tatsächlich geförderte Sole und die Auswirkungen dieser Förderung auf die lokalen Süßwasservorräte sind kein speziell chilenisches Phänomen. Diese Diskussionen gibt es auch in Argentinien und Bolivien, wo ähnliche Lagerstätten vorliegen. Auch hier wird über den Nutzen der Lithiumproduktion auf Kosten der Wasserentnahme diskutiert. Auch wenn es sich bei der entnommenen Wassermenge v. a. um Salzwasser handelt, bleibt die Frage der Interaktion mit dem angrenzenden Süßwasser. Die Untersuchung der genauen Zusammenhänge ist daher zentral, wenn eine nachhaltige Lithiumproduktion bei gleichzeitiger nachhaltiger Bewirtschaftung des Süßwassers gewährleistet werden soll. Problematisch bleibt dabei immer der Einfluss des sich ändernden Klimas auf Niederschläge und daraus folgend auf den Grundwasserspiegel und die Grundwasserneubildung.

Die Lithiumproduktion ist vom Bergbau bis zur Batterieproduktion mit einer sehr langen Wertschöpfungskette verbunden (Abb. 7). Wobei der angegebene Wert bei der Montage der Akkumulatoren natürlich nicht den Wert des Lithiums widerspiegelt, sondern den des gesamten Produktes mit all den darin enthaltenen Rohstoffen. In Bezug auf Bergbau und Aufbereitung ist das Endprodukt beim Solebergbau immer ein Salz, meistens Lithiumcarbonat (Lithiumhydroxid und Lithiumchlorid sind ebenfalls mögliche Endprodukte). Beim Festgesteinsbergbau werden in der Regel Konzentrate produziert oder teilweise direkt das Erz verschifft (direct shipping ore). In letzterem Fall wäre eine Verlängerung der Wertschöpfungskette vom Konzentrat zu Lithiumcarbonat vor Ort oder in der Nähe möglich. Hierfür sind jedoch relativ hohe Investitionen nötig, die bislang nur in der Planung vorliegen, aber noch nicht umgesetzt wurden. Der Wertzuwachs des Lithiuminhalts von einem Spodumenkonzentrat zu Lithiumcarbonat liegt bei einem Faktor von 5 – 6 [1]. Hauptursache sind die Kos-

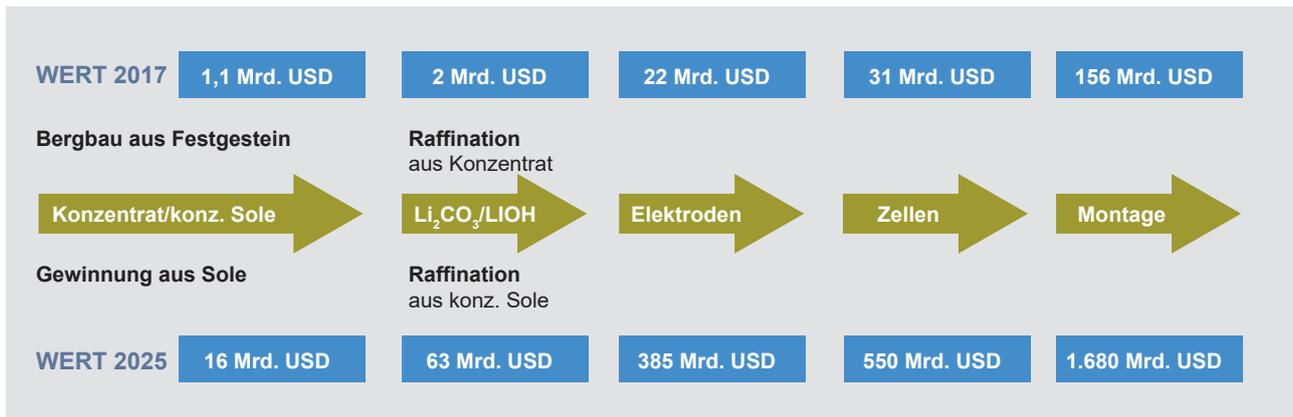


Abb. 7: Wertschöpfungskette von Batterien im Fall des Rohstoffs Lithium. Die Umsätze in Mrd. USD pro Jahr wurden aus der Studie von [22] übernommen. Die Wertsteigerung von Spodumenkonzentrat zu Lithiumcarbonat beträgt ungefähr Faktor 5 – 6. Beim Übergang von Li-reicher Sole zu Lithiumcarbonat ist eine Ermittlung nicht direkt möglich, weil die Sole nicht als Produkt gehandelt wird, sondern direkt vor Ort weiterverarbeitet wird.

ten für Energie und Chemikalien sowie die hohen Reinheitsanforderungen an „Battery Grade“ Lithiumcarbonat. Die Weiterverarbeitung zu Elektroden, Zellen und die Endmontage finden hauptsächlich in China, Südkorea und Taiwan statt [4]. Aber auch in Europa laufen eine Reihe von Initiativen, die Batterieproduktion für die Elektromobilität näher an den heimischen Markt zu verlagern. Das Bestreben von Chile und Bolivien, ebenfalls in die Akkumulatorproduktion einzusteigen, ist aufgrund der damit verbundenen Wertschöpfung verständlich. Allerdings wird im Moment in Europa und Nordamerika wesentlich mehr Geld in neue Produktionsanlagen und die Forschung investiert als in Südamerika. Daher ist es fraglich, ob die gewünschte Verlängerung der Wertschöpfung tatsächlich in Südamerika stattfinden wird. Auch in Australien gab bzw. gibt es Ideen, zumindest die Produktion von Lithiumcarbonat im Land durchzuführen. Ein entsprechendes Projekt für die Konzentrate des Bergwerks Greenbushes wird allerdings aufgrund fallender Preise zunächst nicht weiterverfolgt. In der Produktion von Mineralkonzentraten und in der Soleförderung und anschließenden Produktion von Lithiumcarbonat sind in den jeweiligen Bergwerken jeweils mehrere 100 Personen pro Bergwerk beschäftigt. Der Lithiumproduzent SQM in Chile hat fast 5.000 Personen angestellt, sodass nicht nur die Bergbauunternehmen als Steuerzahler wichtig sind, sondern auch die angestellten Mitarbeiter Steuern zahlen und mit ihrer Kaufkraft zur wirtschaftlichen Entwicklung beitragen.

Eine Verlängerung der Wertschöpfungskette über die Produktion von Lithiumcarbonat hinaus bleibt fraglich, weil hier sehr viele Länder um die benötigten Kapazitäten auf dem Markt für Lithiumionenakkus konkurrieren. Bolivien bleibt hier ein spannendes Beispiel mit den großen Ressourcen im Salar de Uyuni, weil der Staat hier vorschreibt, dass die Weiterverarbeitung im Lan-

de erfolgen muss. Die Lithiumproduktion hat allerdings noch nicht begonnen.

Treibhausgase

Die Effekte durch die Lithiumcarbonat-Produktion auf den CO₂-Fußabdruck, wenn in Zukunft mehr Pegmatite mit niedrigeren Gehalten in Produktion gehen, sind nach einigen Autoren insgesamt unbedeutend [26]. Dieser läge weiterhin bei einem relativ niedrigen Betrag je kWh produzierter Akkuleistung von gut 4 kg CO₂-Äquivalent (CO₂e)/kWh. Romare & Dahllöf [27] gehen bei der Produktion von Lithiumcarbonat aus Salaren von 1 – 2 kg CO₂e/kWh aus. Der gesamte CO₂-Fußabdruck wird hier mit rund 37 – 71 kg CO₂e pro kWh Akkuleistung angegeben. Damit läge der Beitrag des CO₂-Fußabdrucks des Lithiums bei der Batterieproduktion weit unter 10%. Allerdings wird die Umwandlung der Spodumenkonzentrate zu „Battery Grade“-Lithiumcarbonat bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt. Diese Konvertierung von Spodumen in Lithiumcarbonat ist durch den in (Abb. 5) dargestellten Prozess wesentlich energieintensiver als die Produktion von „Battery Grade“-Lithiumcarbonat aus Salaren, bei dem lediglich die Sole gereinigt und das Carbonat ausgefällt werden muss.

Der Gesamtbeitrag hängt natürlich auch davon ab, mit welcher Energieart die Batterie produziert wird. Hier geben Romare & Dahllöf [27] aufgrund unterschiedlicher Energiemixe Werte von 7 kg CO₂e/kWh für Schweden an (viel Wasserkraft). Demgegenüber stehen 159 kg CO₂e/kWh für China und 226 kg CO₂e/kWh für den Fall einer Produktion in Indien (hauptsächlich Kohle). Andere Autoren geben einen Standardwert von 107 kg CO₂e/kWh an [28]. Hauptfaktor ist nicht der eingesetzte Rohstoff, sondern der Produktionsstandort der Batteriezellenfertigung bzw. der Energiemix, der verwendet wird.

4.3 Governance

Der mit Abstand größte Anteil der Gesamtproduktion an Lithium liegt in Ländern mit sehr guter (Australien) oder guter (Chile) Governance (Mittel der World Governance Indikatoren der Weltbank [6]). Die mittlere, nach Produktion gewichtete Governance liegt bei einem sehr guten Wert von 1,16 (auf einer Skala von -2,5 bis +2,5). Das einzige Land mit kritischer Governance unter den momentan produzierenden Ländern ist Simbabwe (-1,19). Sollte Bolivien die Produktion deutlich ausbauen, würde das Land ebenfalls zu den kritischen Ländern mit einem Governance Index unter -0,5 zählen (-0,55). Aber auch in Ländern mit guter Governance, wie in Chile, gibt es viele kritische Stimmen, insbesondere zur Überwachung der Wasserentnahme der Lithiumproduzenten. Hier liegt teilweise ein wenig vertrauensvolles Klima zwischen lokaler Bevölkerung, den abbauenden Unternehmen und den Kontrollbehörden vor. Als Reaktion darauf veröffentlicht SQM täglich die Entnahmemengen aus ihren Brunnen, aber es scheint ein weiter Weg zu sein, das Vertrauen der lokalen Bevölkerung zurück zu gewinnen.

5 QUELLENACHWEIS

- [1] BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2019) Fachinformationssystem Rohstoffe. – unveröff.; Hannover. [Stand 05.05.2020].
- [2] SCHMIDT M (2017) Rohstoffrisikobewertung – Lithium – DERA Rohstoffinformationen 33: Berlin.
- [3] ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (2016) Lithium: Global Industry, Markets & Outlook. London.
- [4] STATISTA (2020) Distribution of lithium end-usage worldwide in 2019, by area of application <https://www.statista.com/statistics/268787/lithium-usage-in-the-world-market/> [Stand: 09.06.2020].
- [5] RAHIMZEI E, SANN K, VOGEL M (2020) Kompendium: Li-Ionen-Batterien im BMWi Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car - Smart Grid - Smart Traffic. <https://www.dke.de/resource/blob/933404/3d80f2d93602ef58c6e28ade9be093cf/kompendium-li-ionen-batterien-data.pdf> [Stand 09.06.2020].
- [6] WORLD BANK (2019) World DataBank – [URL: https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-wide-governance-indicators](https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-wide-governance-indicators) [Stand 04.05.2020].
- [7] GARRET DE (2004) Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride: Their Deposits, Processing, Uses and Properties. Elsevier, Oxford.
- [8] FLEXER V, BASPINEIRO CF, GALLI CI (2018) Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of the Total Environment* 639:1188-1204.
- [9] TALENS PEIRÓ L, VILLALBA MÉNDEZ G, AYRES RU (2013) Lithium: sources, production, uses, and recovery outlook. *Journal of Mineralogy* 65 (8):986-996.
- [10] VIKSTRÖM H, DAVIDSSON S, HÖÖK M (2013) Lithium availability and future production outlooks. *Applied Energy* 110:252-266.
- [11] JASKULA BW (2017) USGS: 2015 Minerals Yearbook: lithium. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/myb1-2015-lithi.pdf>
- [12] SQM MEMORIAL ANUAL (2018) http://s1.q4cdn.com/793210788/files/doc_financials/annual_report/2018/Memoria-Anual-2018_esp.pdf
- [13] Vulcan Energy Resources (2020) <https://v-er.com/zero-carbon-lithium-presentation-march-2020/> [Stand 09.06.2020].
- [14] SONG JF, NGHIEM LD, LI XM, HE T (2017) Lithium extraction from Chinese salt-lake brines: opportunities, challenges, and future outlook. *Environmental Sciences: Water Research and Technology* 3 (4):593-597
- [15] BUKOWSKY H, UHLEMANN E (1993) Selective extraction of lithium chloride from brines. *Separation Science and Technology* 28 (6):1357-1360
- [16] GABRA GG, TORMA AE (1978) Lithium chloride extraction by n-butanol. *Hydrometallurgy* 3 (1):23-33
- [17] SOMRANI A, HAMZAQUI AH, PONTIE M (2013) Study on lithium separation from salt lake brines by nanofiltration (NF) and low pressure reverse osmosis (LPRO). *Desalination* 317:184-192
- [18] 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* 110:75-81

[19] 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: Berlin.

[20] WANGER T (2014) The Lithium future – resources, recycling, and the environment. – Conservation Letters 4:202-206

[21] TOST M, BAYER B, HITCH M, LUTTER S, MOSER P, FEIEL S (2018) Metal Mining's Environmental Pressures: A Review and Updated Estimates on CO₂ Emissions, Water Use, and Land Requirements. Sustainability 10(8): 2881

[22] WILLS R, BUCKLEY H, PRENTICE N (2018) A lithium industry in Australia. A value chain analysis for downstreaming Australia's lithium resources. https://www.amec.org.au/wp-content/uploads/2020/01/A_Lithium_industry_in_Australia.pdf [Stand 04.05.2020].

[23] PILBARA MINERALS (2018) DFS results and customer confidence support major expansion of Pilgangoora. http://www.pilbaraminerals.com.au/site/PDF/2194_0/OutstandingDFSResultsSupportPilgangooraExpansion [Stand 04.05.2020].

[24] LIU W, AGUSTINATA DB, MYINT SW (2019) Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 80: 145-156

[25] DIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA DE CHILE: <https://el-vinotinto.cl/2019/12/26/direccion-de-meteorologia-de-chile-la-decada-mas-seca-en-150-anos> [Stand: 18.05.2020].

[26] AMBROSE H, KENADALL A (2020) Understanding the future of lithium: Part 2, temporally and spatially resolved life-cycle assessment modeling. Journal of Industrial Ecology 24:90-100

[27] ROMARE M, DAHLLÖF L (2017) The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. IVL Swedish Environmental Research Institute, Report number C 243. <https://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebe9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf> [Stand 04.05.2020].

[28] ELLINGSEN LA-W, MAJEAU-BETTES G, SINGH B, SRIVASTAVA AK, VALØEN LO, STRØMMAN AH (2014) Life cycle assessment of a lithium-ion battery vehicle pack. Journal of Industrial Ecology 18:113-124

* Die Produktionszahlen für Australien stammen vom BGS/USGS. Diese basieren vermutlich auf Exportzahlen, welche mit einem Umrechnungsfaktor von 6 % Li₂O Inhalt (Standardkonzentrat) für alle aus Australien exportierten Erze und Konzentrate umgerechnet wurden. Da die Li₂O Gehalte einzelner Produzenten je nach Produkt zwischen 1,2 – 7 % schwanken und nur die Gesamtexporte des Landes bekannt sind, liegt die angegebene Jahresförderung wahrscheinlich erheblich über der tatsächlichen Jahresförderung.

IMPRESSUM

Herausgeber:

© Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
B 1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe
Arbeitsbereich Bergbau und Nachhaltigkeit
Stilleweg 2
30655 Hannover

E-Mail: mineralische-rohstoffe@bgr.de
www.bgr.bund.de

Autor:

Malte Drobe

Unter Mitarbeit von:

Michael Schmidt und Gudrun Franken

Layout:

Jolante Duba

Titelfoto:

© 40568941 Shutterstock Petr Malyshev

Stand:

Juli 2020

DOI:

10.25928/g7ce-b205