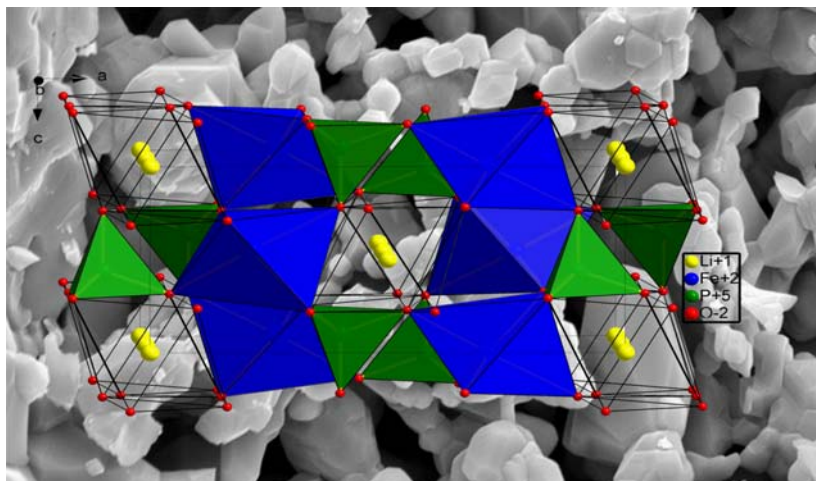


Lithium – begehrter Rohstoff der Zukunft



- Eine Verfügbarkeitsanalyse -

Ulm, den 08.06.2010

Ansprechpartner:

Benjamin Schott – Fachgebiet Systemanalyse

Tel.: +49 (0)7 11 78 70-294

Fax: +49 (0)7 11 78 70-200

E-Mail: benjamin.schott@zsw-bw.de

<http://www.zsw-bw.de>

Inhalt

1. Abstract	3
2. Lithiumbedarf verschiedener Anwendungsbereiche	4
3. Lithiumressourcen in großen Mengen verfügbar	5
4. Produktionskapazitäten müssen dem Bedarf folgen können	7
5. Risiko Versorgungslücke	8
6. Risiko geopolitische Situation	10
7. Risiko Preissteigerungen	11
8. Chancen für die deutsche Wirtschaft	14
9. Literaturquellen	15

1. Abstract

Im Zuge der weltweiten Entwicklungen zur Elektromobilität und dem damit verbundenen verstärkten Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien wird die Verfügbarkeit des Rohstoffs Lithium zunehmend diskutiert und in Frage gestellt. Eine Meta-Studie am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) hat die Reichweite der Lithium-Ressourcen hinsichtlich Elektromobilität und anderer Anwendungen betrachtet. Demnach sind heute ausreichend identifizierte Lithium-Quellen vorhanden sowie neue Produktionskapazitäten für Lithium geplant, um eine zukünftige Produktion von Elektrofahrzeugen für viele Jahre versorgen zu können. Das Risiko einer Versorgungslücke besteht dabei vor allem durch die lange Vorlaufzeit beim Aufbau von neuen Produktionsstandorten und, da der Großteil der Lithium-Ressourcen in politisch weniger stabilen Ländern liegt, auch durch die geopolitische Situation. Um die Auswirkungen steigender Rohstoffkosten auf die Batteriekosten zu verringern, die Rohstoffversorgungssicherheit zu erhöhen und die Chancen für die Wirtschaft zu verbessern, sind weitergehende Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen notwendig. Im Fokus stehen die Lithium-Ionen-Batterien, die Entwicklung und Etablierung einer geeigneten Recycling bzw. Kreislaufwirtschaft und die langfristige Erforschung neuer Batterietechnologien.

2. Lithiumbedarf verschiedener Anwendungsbereiche

In den Medienberichten der letzten Jahre bestimmte die Verknappung von Rohstoffen immer wieder die Schlagzeilen. Bedingt durch weltweit verstärkte Entwicklungen rund um die Elektromobilität steht dabei seit einiger Zeit das „Lithium-Fieber“¹ und die Angst um die Verfügbarkeit seltener Erdmetalle besonders im Fokus.²

Neben den Märkten für Glas & Keramik, Schmiermittel und anderen hatten Batterien bereits in den letzten Jahren einen Anteil von 20% - 25% an der Nutzung der jährlichen Lithiumproduktion [USGS 2010] (Abb. 1). Die heute produzierten Lithium-Ionen-Batterien werden bisher vor allem in der portablen Elektronik (Notebooks, Mobiltelefone usw.) eingesetzt. Auf Grund des weiterhin hohen Wachstums des Elektronikmarktes (7% -12% p.a.) ist es ungewiss, ob es zusammen mit einem Markt für Elektrofahrzeuge zukünftig zu einem Produktionsengpass kommen wird. Dieser Nachfragesektor wird die Entwicklung wesentlich beeinflussen, es darf aber nicht vergessen werden, dass auch neue Anwendungen, die heute noch nicht marktreif sind oder sich im Aufbau befinden, in Zukunft Lithium als Rohstoff benötigen könnten. Beispiele sind Fusionskraftwerke, bestimmte Verfahren der Wasserdesinfektion, Absorbermaterialien für Solarkollektoren oder auch neue Leichtbauwerkstoffe [Tahil 2008], [Fraunhofer ISI und IZT 2009], [Ebensperger u. a. 2005].

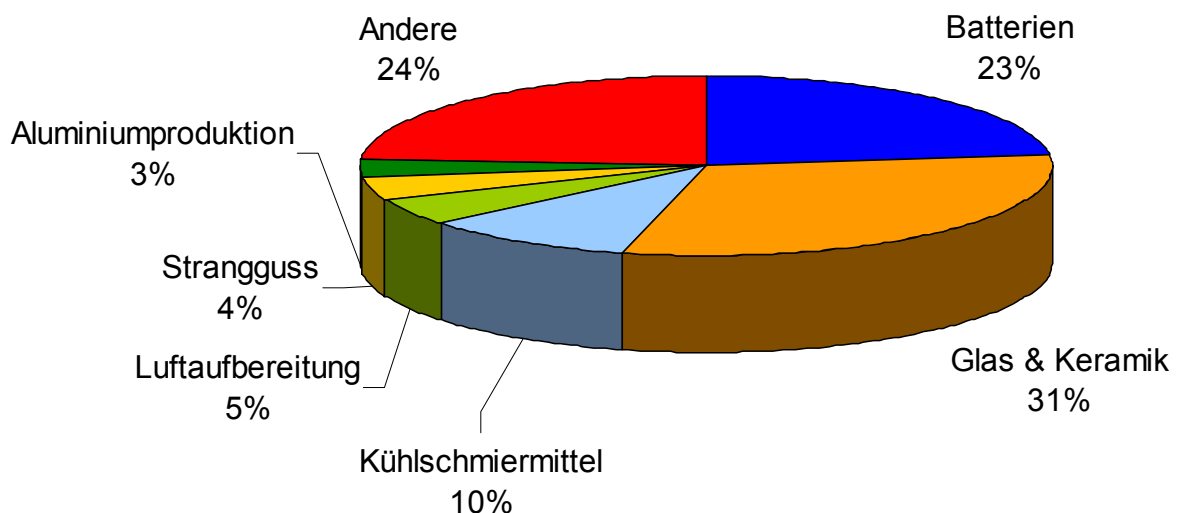
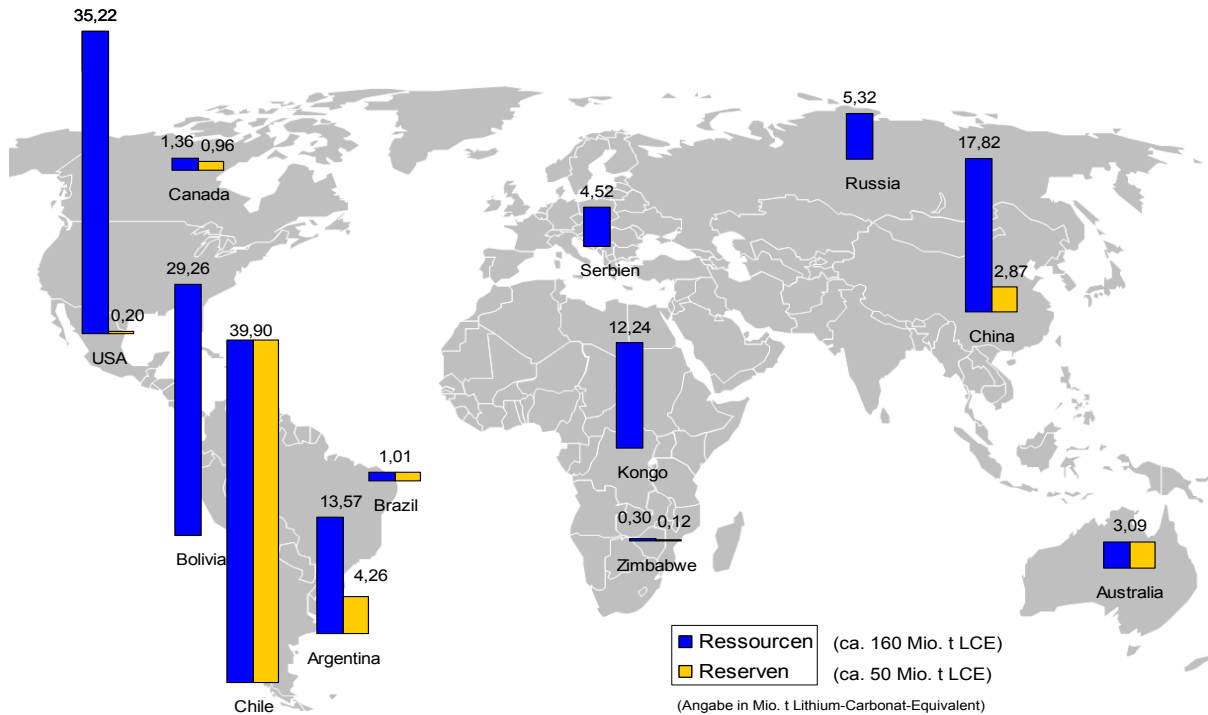


Abb. 1: Aufteilung des Bedarfs an Lithium auf Anwendungsbereiche [USGS 2010].

¹ Handelsblatt vom 25.11.2009 <http://www.handelsblatt.com/finanzen/rohstoffe/lithium-fieber-kampf-um-den-rohstoff-der-zukunft;2489243#bgStart> und <http://www.handelsblatt.com/finanzen/rohstoffe/rohstoffmarkt-lithium-das-begehrte-oel-von-morgen;2489142> abgerufen am 25.01.2010

² Financial Times Deutschland vom 02.09.2009: „Rohstoffmangel bedroht Elektroautos“ abgerufen am 25.01.2010



Quellen:

Datenbasis für Reserven nach [USGS 2010]; Datenbasis für Ressourcen nach [Evans 2008] verändert mit Daten nach [USGS 2010]

Abb. 2: Aufteilung der identifizierten Lithium-Reserven und Lithium-Ressourcen nach Ländern [USGS 2010], [Evans 2008].

3. Lithiumressourcen in großen Mengen verfügbar

Abgrenzung Ressourcen und Reserven für mineralische Rohstoffe nach [USGS2010a]:

Ressourcen bezeichnen die tatsächlich gemessene oder auch abgeschätzte Menge eines natürlich auftretenden festen, flüssigen oder gasförmigen Materials in oder auf der Erdkruste, aus der die ökonomische Gewinnung eines Rohstoffs heute oder zukünftig möglich ist.

Als **Reservenbasis** wird der Teil der Ressourcen bezeichnet, der spezifische minimale physikalische und chemische Anforderungen, bezogen auf gegenwärtige Abbau- und Produktionsmethoden, erfüllt.

Reserven sind der Teil der Reservenbasis, der mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewonnen werden kann.

Eine wesentliche Komponente im Elektrofahrzeug ist die Batterie. Auf Grund der hohen Energiedichte und Lebensdauer setzen Hersteller aktuell und zukünftig vor allem auf die Lithium-Ionen-Technologie. Je nachdem, wie sich die Märkte entwickeln, könnte Lithium somit „...das begehrte Öl von morgen“¹ werden. Dabei stellt sich die Frage, ob die weltweiten technisch und wirtschaftlich erschließbaren Ressourcen ausreichen werden und ob die Produktionskapazitäten den wachsenden Bedarf zukünftig decken können. Hersteller von Lithiumrohstoffen [Chemetall 2009] und verschiedene Studien [Deutsche Bank 2008], [BCG 2009], [Evans 2008] sehen die Situation entspannt, es gibt aber durchaus auch kritische Betrachtungen [Tahil 2008].

Die heute weltweit identifizierten Ressourcen an Lithium (angegeben in Lithiumcarbonat-Äquivalenten (LCE)³) sind beträchtlich und liegen zwischen 135 - 160 Mio. t LCE, vorwiegend in Südamerika (>50%) sowie in Nordamerika, China und Afrika (Abb. 2). Diese Rohstoffbasis würde insgesamt für ca. 10 Mrd. Elektrofahrzeuge ausreichen.⁴ Rein rechnerisch könnte damit die weltweite jährliche Produktion von aktuell ca. 50 Mio. Fahrzeugen [OICA 2008] 200 Jahre lang komplett mit Lithium-Ionen-Batterien⁴ ausgestattet werden. Meridian Research beziffert die heutigen LCE Ressourcen mit ca. 110 Mio. t allerdings niedriger und Untersuchungen zu Reserven, die zu heutigen Preisen wirtschaftlich abbaubar sind, weisen sogar nur ca. 21 Mio. t aus [Tahil 2008]. Hingegen beziffern die neuesten Veröffentlichungen des U.S. Geological Survey für 2009 die Reserven auf über 50 Mio t LCE [USGS 2010] (Abb. 2). Abb. 3 stellt verschiedene Studien und Datenquellen hinsichtlich des Rohstoffpotenzials für Elektrofahrzeuge gegenüber. Unter der Annahme, dass es in Zukunft ein effizientes Recyclingsystem für Lithium geben wird, kann die Verfügbarkeit des Rohstoffs entsprechend verlängert werden. Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung legt seinen kürzlich erstellten Szenarien einen Einsatz von ca. 25% recyceltem Sekundärlithium zu Grunde. Nach diesen Analysen wären bei einer Steigerung des Marktanteils der Elektrofahrzeuge auf 85% der Neuzulassungen bis 2050 zwar die heute wirtschaftlich und technisch verfügbaren Lithiumquellen (ca. 32 Mio t LCE) erschöpft, jedoch gäbe es dann noch ausreichend vorhandene Ressourcen, die erschlossen werden könnten [Fraunhofer ISI 2009].

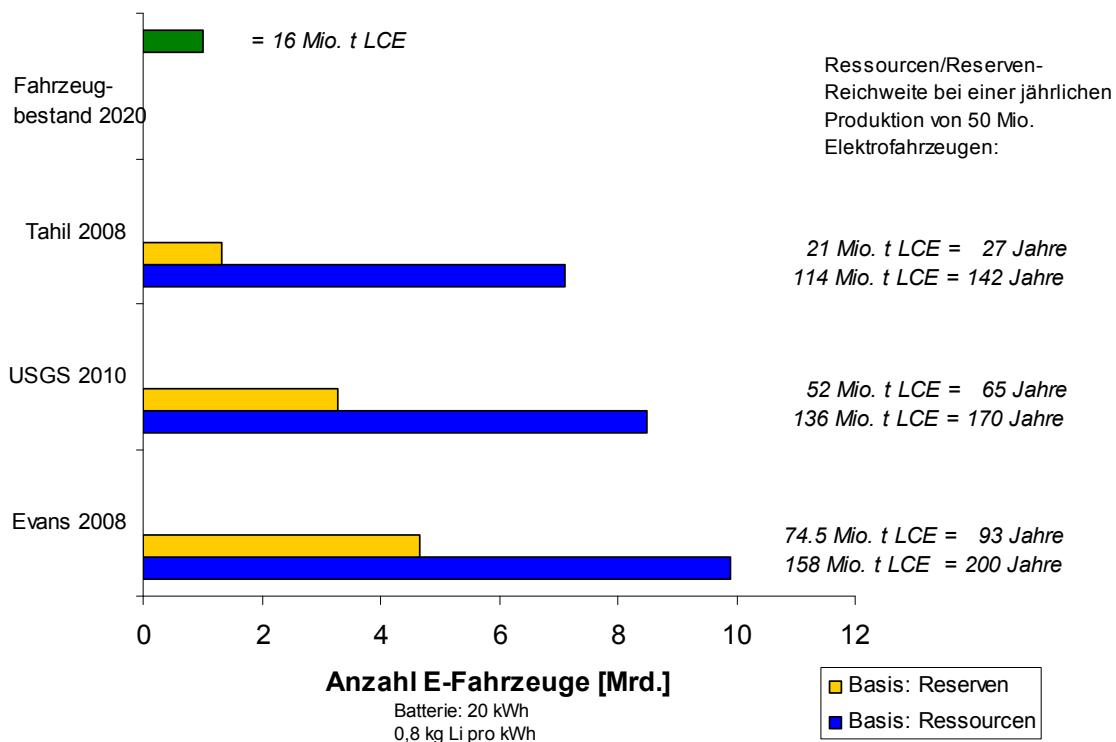


Abb. 3: Anzahl der Elektrofahrzeuge, die mit den jeweiligen Angaben zur Ressourcen- und Reservenmenge produziert werden könnten und Angabe der Ressourcen- bzw. Reservenreichweite bei einer jährlichen Produktion von 50 Mio. Elektrofahrzeugen. Recycling von Lithium wurde nicht berücksichtigt. Darstellung: ZSW.

³ 5,32 kg LCE ≈ 1 kg Lithium

⁴ 20 kWh Batterie mit 0,8 kg LCE/kWh = ca. 150 g Li pro kWh. Je nach Aktivmaterial variiert dieser Wert entsprechend und liegt zwischen 100 und 150 g Li pro kWh.

4. Produktionskapazitäten müssen dem Bedarf folgen können

Auch wenn der Lithiumbedarf für viele Jahre gesichert scheint, stellt sich aus heutiger Sicht die Frage, ob die aktuellen und zukünftigen Produktionskapazitäten den zusätzlichen Bedarf an Lithium durch die Elektromobilität auffangen können. Im Jahr 2008 wurden ca. 135.000 t LCE (ca. 25.000 t Lithium)³ produziert, Chile und Argentinien haben daran alleine einen Anteil von mehr als 50% [USGS 2010]. Wie schon bei den Ressourcen angedeutet, konzentriert sich die Lithiumwirtschaft vorwiegend auf Südamerika, was zukünftig eine starke Rohstoffabhängigkeit zur Folge haben kann. Aus diesem Grund ist schon heute eine vorausschauende Strategie für die Versorgungssicherheit sowie für Forschung und Entwicklung notwendig.

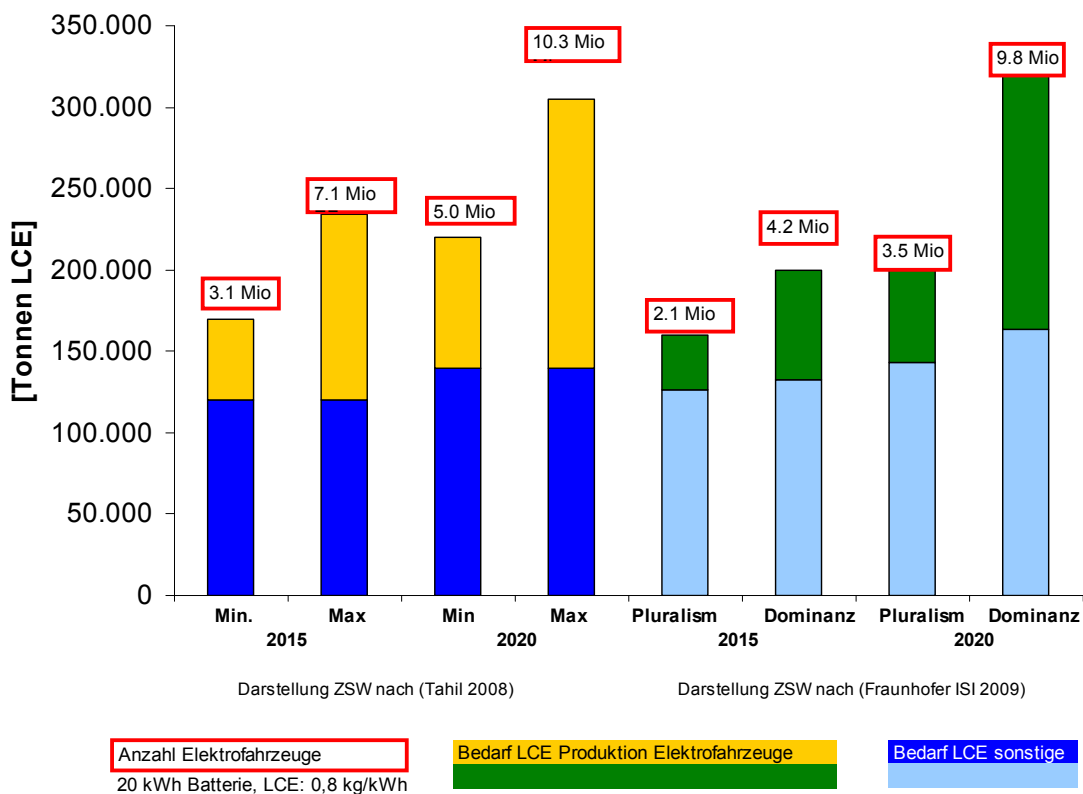


Abb. 4: Minimale und maximale Szenarien der jährlichen Produktion an LCE mit Angabe der damit möglichen Anzahl produzierter Elektrofahrzeuge pro Jahr. Darstellung: ZSW nach [Tahil 2008], [Fraunhofer ISI 2009].

Durch das weitere Wachstum des Gesamtmarktes für Akkumulatoren, prognostiziert sind 10% - 20% p.a., soll deren Anteil am gesamten Lithiumbedarf bis 2013 auf 27% anwachsen und 2020 sogar 40% übersteigen. Dies kann je nach Wachstumsszenario der Elektrofahrzeuge zu einem Gesamtbedarf einschließlich der anderen Anwendungen von ca. 200.000^{4,5} bzw. 320.000^{4,6} t LCE (inklusive Sekundärlithium aus Recycling) bis 2020 führen [Fraunhofer ISI 2009]. Meridian Research geht sogar von einem Wachstum des Lithiumbedarfs des bestehenden Batteriemarktes von 25% p.a. und damit von einem Bedarfsanteil von 55%⁷ bis 2015 aus. Dieses Wachstum führt bis 2020 zu einem maximalen Gesamtbedarf von 300.000 t LCE [Tahil 2008]. Beide Stu-

⁵ Szenario „Pluralismus“: Anteil HEV/PHEV/EV Neuzulassungen in 2020: ca. 25% bzw. 17 Mio.

⁶ Szenario „Dominanz“: Anteil HEV/PHEV/EV Neuzulassungen in 2020: ca. 35% bzw. 25 Mio.

⁷ Ohne Bedarf für Elektrofahrzeuge!

dien werden in Abb. 4 unter Berücksichtigung vergleichbarer Annahmen^{4,8} gegenübergestellt. Zum Vergleich: die Produktion der oben genannten 50 Mio. Elektrofahrzeuge würde unter diesen Annahmen ca. 800.000 t LCE pro Jahr benötigen.

Für die zukünftige Entwicklung des Bestands an Elektrofahrzeugen (HEV, PHEV und EV) existieren verschiedene Szenarien. Die Spanne der Prognosen ist groß und demzufolge ist eine genaue Vorhersage der Marktanteile und damit des Lithiumbedarfs nur schwer möglich. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Lithiumressourcen für den mittelfristigen zukünftigen Bedarf ausreichen werden. Solange kein unerwarteter Boom für Elektrofahrzeuge auftritt, können die Lithium-Produzenten ihre Kapazitäten wahrscheinlich auch entsprechend anpassen.

5. Risiko Versorgungslücke

Der Abbauprozess und damit die Kostenstrukturen für Lithiumrohstoffe hängen stark von der Materialbeschaffenheit, der Materialqualität und den örtlichen Gegebenheiten ab [Evans 2008]. Die Gewinnung von Lithiumrohstoffen aus Salzseen (Solen) stellt heute die kostengünstigste Möglichkeit dar. Die Wirtschaftlichkeit einiger existierender Produktionsstätten wird zusätzlich dadurch erheblich positiv beeinflusst, dass Lithium als Nebenprodukt in der Wertschöpfungskette anderer Rohstoffe aus den Salzsolen, wie z.B. Kaliumcarbonat für die Düngemittelindustrie, gewonnen werden kann. Übersteigt der Bedarf die Produktion an Nebenproduktlithium kann es allerdings zu einem Kostensprung in der Produktion dieser zusätzlicher Mengen kommen. Ein Abbau mineralischer Rohstoffe (z.B. Pegmatit oder Hektorit) und die Weiterverarbeitung zu Lithiumcarbonat sowie anderen Folgeprodukten sind dagegen energieintensiv und mit hohen Transportkosten verbunden. Zudem sind die Erzvorkommen auf relativ kleine Lagerstätten verteilt, weshalb keine Skaleneffekte in der Produktion erwartet werden können. Die Produktionskosten werden 2 - 3 mal (ca. 3 – 6 \$/kg) höher eingeschätzt als vergleichbare Produktionen aus Salzsolen [Yaksic und Tilton 2009], [Byron 2009], [Ebensperger u. a. 2005].

In der Glas- und Keramikproduktion wird zum größten Teil direkt Lithiumoxid in Form von Mineralkonzentraten eingesetzt, welches mit weniger Prozessstufen kostengünstiger gewonnen werden kann. Aus Gründen der Qualität und der Verarbeitung kommt es für Batterien jedoch nicht in Frage. Zur Herstellung von Batteriematerialien wird in den meisten Fällen Lithiumcarbonat mit hoher Qualität („Battery-Grade“) benötigt, das je nach Rohstoffquelle eine zusätzliche Vorreinigung notwendig macht. Auch hierbei hat Lithium aus Salzseen Vorteile gegenüber mineralischen Quellen wie Pegmatiten, da eine geringere Reinheit Kostensteigerungen verursacht. Vorteile könnte dagegen die Gewinnung von Lithiumcarbonat aus Tonmineralen wie Hektoriten bringen. Durch dessen hohe Reinheit würde die Aufarbeitung zu „Battery-Grade“-Material vereinfacht. Damit könnten trotz höherer Rohstoffkosten Kostenvorteile für die Hersteller von Batteriematerialien entstehen [Byron 2009].

In den letzten Jahren, vor allem seit dem Einstieg der chilenischen Firma SQM 1997, hat sich der Marktanteil der Produzenten von Lithiumrohstoffen aus Salzsolen (vorwiegend Lithiumcarbonat) auf ca. 75% gesteigert. Mit dem damit verbundenen Absinken der Preise auf 1,50 – 2,00 \$/kg haben viele Firmen z.B. in den USA, Russland, Australien, Argentinien und China in dieser Zeit ihre Produktion aus Lithiummineralen aus wirtschaftlichen Gründen heruntergefahren oder sogar ganz stillgelegt. Die verbleibende Produktion aus mineralischen Rohstoffen wird hauptsächlich in der Glas- und Keramikindustrie eingesetzt. Während die Preise Ende der 1990er Jahre mit dem Einstieg von SQM stark fielen, trieb der steigende und prognostizierte Bedarf an Lithium die Preise in den letzten Jahren wieder in die Höhe. Kostete Lithiumcarbonat Anfang des Jahrzehnts durchschnittlich noch ca. 2 \$/kg beträgt der Marktpreis heute bereits 5 - 7 \$/kg [USGS 2010], [Ebensperger u. a. 2005]. Aktuell existiert keine fundierte Informationsbasis zur Differenzierung der Marktpreise verschiedener Lithiumcarbonatqualitäten. Ebensperger et al.

⁸ [Tahil 2008] geht ursprünglich mit 1,4 kg/kWh von einem höheren Bedarf an LCE pro kWh aus.

gehen für Lithium in Batteriequalität von dem 6-fachen (12 \$/kg) des Basispreises (2 \$/kg) in 2002 aus. Verschiedene Experten nennen Preise zwischen 6 – 7,5 \$/kg für 2009. Diese liegen im oberen Bereich der bereits genannten aktuellen Marktpreise, aber nicht deutlich darüber [Roland Berger 2009], [Byron 2009], [USGS 2010b], [Chemetal 2009].

Steigt die Nachfrage nach Lithium, so wird es sich für die Anbieter lohnen, weitere Rohstoffvorkommen mit höheren Extraktionskosten zu erschließen bzw. stillgelegte Produktionsstätten zu reaktivieren. Allerdings erfordert die Realisierung zusätzlicher Kapazitäten eine lange Vorlaufzeit, die sich von etwa 2 bis 7 Jahren erstrecken kann, abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, regionalen Rahmenbedingungen, Logistik und der Rohstoffquelle [TNR 2010], [Byron 2009]. Dadurch können für einen gewissen Zeitraum Verwerfungen am Markt entstehen, die zunächst einen sehr starken Anstieg der Preise zur Folge haben. Damit wäre eine vergleichbare Situation zur Polysiliziumknappheit in der Photovoltaikindustrie möglich – Produktionsengpässe von 2006 bis 2008 und erhebliche Preissteigerungen am Spotmarkt um teilweise 300 % auf über 400 \$/kg innerhalb eines Jahres, verursacht durch einen Nachfrageboom. Viele Firmen konnten diese Zeit mit Weitblick durch langfristige Lieferverträge überstehen, die jedoch nach Einsetzen eines Angebotsüberhangs und stark fallenden Preisen auf heute ca. 60 \$/kg teilweise zu Wettbewerbsnachteilen geführt haben und nachverhandelt bzw. angepasst werden mussten. (siehe unter anderem [Sarasin 2009]).

Nach Ausbau der Kapazitäten ist zu erwarten, dass der Marktpreis für Lithium auf einem höheren Niveau als in der Ausgangssituation liegen wird, da die neu erschlossenen Vorkommen und reaktivierten Produktionsstätten höhere Extraktionskosten bzw. Produktionskosten besitzen und somit den durchschnittlichen Gesamtpreis erhöhen. Obwohl zukünftig ein Großteil neuer Kapazitäten, vor allem in den USA, Russland, Afrika und Serbien aus der kostenintensiveren Herstellung von Lithiummineralen oder auch neuen Entwicklungen (z.B. aus Geothermalkraftwerken⁹) kommen wird, werden mehr als 60% der Ressourcen und sogar mehr als 80% der Reserven durch Salzseen und damit durch eine voraussichtlich relativ kostengünstige Rohstoffquelle gedeckt. Da die Preisentwicklung von sehr vielen Faktoren abhängt, kann keine exakte Aussage über zukünftige Entwicklungen gemacht werden. Man kann jedoch annehmen, dass zukünftige Preissteigerungen zum einen die höheren Kosten der Produktion aus Lithiummineralen widerspiegeln und zum anderen durch einen starken Anstieg der Nachfrage nach höherqualitativem Lithiumcarbonat für Lithium-Ionen-Batterien verursacht werden.

Außerdem werden im Moment der Markt und auch der Preis im Wesentlichen von wenigen Unternehmen in Südamerika und Australien dominiert. Dieses Oligopol auf dem Lithiummarkt führt dazu, dass der derzeit beobachtete Marktpreis über dem Preis bei einer stärkeren Wettbewerbssituation liegt. Eine große Anzahl neuer Firmen ist jedoch dabei, verschiedene Standorte zu untersuchen und zusätzliche Kapazitäten aufzubauen [USGS 2010]¹⁰. Werden die Projekte zum richtigen Zeitpunkt realisiert, kann eine zukünftige Versorgungslücke und damit ein temporärer extremer Preisanstieg analog zu Polysilizium vermieden oder gedämpft werden. Zudem wird eine steigende Wettbewerberzahl die Abhängigkeit von wenigen Lieferanten abschwächen.

Auch im Lithium-Markt werden zur Sicherung der Versorgung und eines stabilen Preisniveaus Langfristverträge geschlossen. Diese sollten jedoch mit Bedacht ausgehandelt werden, um Situationen wie in der Photovoltaikindustrie zu vermeiden. Eine weitere Möglichkeit ist auch die Rückwärtsintegration durch Beteiligung an Lithiumherstellern, wie z.B. der Toyota Group an der australischen Orocobre Ltd. im Januar 2010 [Orocobre 2010], von Mitsubishi und Magna an der kanadischen Lithium Americas Corp im Mai 2010 [Lithium Americas 2010] oder der Korean Resources Corp. an der Lithium One Ltd. im Juni 2010 [Lithium One 2010] - eine Möglichkeit zur langfristigen Sicherung der Lithiumversorgung, die deutsche und europäische Hersteller nicht außer Acht lassen sollten.

⁹ Presstext vom 14.12.2009: <http://www.presstext.de/news/091214023/lithium-fuer-batterien-aus-geothermalkraftwerk/> [25.03.2010]

¹⁰ Gold Report - Interview mit Jon Hykawy (Lithium analyst Byron Capital Market) September 2009: <http://www.theaureport.com/pub/na/3080> (25.03.2010)

6. Risiko geopolitische Situation

Wie bereits dargestellt konzentriert sich ein erheblicher Teil der Ressourcen und Reserven auf wenige Länder in Südamerika sowie die USA, China, und Afrika. Diese Situation erfordert geopolitischen Weitblick, um eine erhöhte Abhängigkeit von Rohstoffimporten vor allem aus einzelnen - politisch weniger stabilen - Ländern und die damit verbundene Planungsunsicherheit zu vermeiden. Wie bereits letztes Jahr bekannt wurde, bestehen in China Pläne, die Exporte bestimmter Rohstoffe durch protektionistische Maßnahmen zu beschränken¹¹. Die Lithiumwirtschaft in Bolivien und Chile steht ebenfalls unter staatlichem Einfluss, so dass auch hier eine Beschränkung der Exporte und der Aufbau eigener kompletter Wertschöpfungsketten bis zur Batterie denkbar wären. Welche Alternativen für die deutsche oder europäische Wirtschaft wird es geben, wenn die notwendige Versorgung mit Lithium künftig knapp werden sollte? Mögliche Risikominimierungsstrategien oder auch Präventionsmaßnahmen werden im Folgenden skizziert.

Verschiedene Experten empfehlen den sinnvollen Aufbau eines Rohstoffrecyclingsystems, um dadurch die Ressourceneffizienz zu erhöhen und Rohstoffknappheiten zu vermeiden. Wesentliche Einflussfaktoren hierbei sind die Kosten des Recyclings und die Auswirkung auf den Marktpreis von Lithium sowie die Effizienz der Recyclingverfahren. Chemetall rechnet aktuell mit einer Quote von ca. 50% Lithium [Chemetall 2009]. Die Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung rechnet mit einer Recyclingeffizienz von 85 % für Batterien, dem Mittelwert aktueller Lithium-Recyclingprozesse [Fraunhofer ISI 2009]. Zu den Kosten von recyceltem LCE kann aus heutiger Sicht keine Aussage getroffen werden. Das Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und die USA fördern die Forschung und Entwicklung des Themas Batterierecycling innerhalb ihrer Forschungsprogramme. Erste Projekte zur Entwicklung geeigneter Verfahren sind bereits angelaufen.^{12,13} Eine Kreislaufwirtschaft mit dem Recycling von Batterien und dem Einsatz daraus gewonnener Sekundärlithium-Rohstoffe in der Batterieproduktion könnte eine erhebliche Reduzierung von Importen ermöglichen. Zudem eröffnet es eine Chance für Unternehmen der Umwelttechnologie neue Geschäftsfelder aufzubauen und somit die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten oder für junge Unternehmen sich zu etablieren.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Versorgungssicherheit stellt die Erschließung neuer Quellen für Lithiumrohstoffe sowie die Entwicklung und Etablierung neuer Herstellungsmethoden dar. Erste Ansätze gibt es zum Beispiel in den USA. Dort soll Lithium umweltfreundlicher aus dem Abwasser eines Geothermalkraftwerkes gewonnen werden. Die Entwicklungen stehen noch ganz am Anfang, deswegen können noch keine exakten Aussagen zu Kosten oder technischer Machbarkeit getroffen werden. Ein wesentlicher Verfahrensschritt ist die Abtrennung von Silikaten. Kostenvorteile bieten sich durch die Gewinnung von Lithium als Nebenprodukt der Geothermischen Energiegewinnung in Kombination mit anderen marktfähigen Nebenproduktrohstoffen (Silikat, Wolfram, Cäsium, Rubidium). Erste Abschätzungen gehen von Produktionskosten zwischen 5 – 6 \$/kg aus. Weitere potentielle Standorte neben den USA und Chile befinden sich in Neuseeland, Italien, Island, Japan und Frankreich. Mengenangaben gibt es keine, jedoch werden keine großen Ressourcen erwartet. [Evans 2008], [Yaksic und Tilton 2009].

Die einzigen nennenswerten bis heute identifizierten Lithiumressourcen in mineralischer Form in Europa befinden sich in Serbien als Jadarit-Gestein. Diese Rohstoffquelle wurde bisher jedoch nicht ausreichend erschlossen und untersucht, daher kann keine Aussage zu Kosten und Verfügbarkeit gemacht werden [Evans 2008], [Yaksic und Tilton 2009]. Der Konzern Rio Tinto

¹¹ Telegraph UK vom 24.09.2009: http://www.telegraph.co.uk/finance/comment/ambroseevans_pritchard/6082464/World-faces-hi-tech-crunch-as-China-eyes-ban-on-rare-metal-exports.html

¹² <http://www.lithorec.de/> 11.09.2009

¹³ <http://www.heise.de/tr/artikel/Was-vom-oeko-Auto-uebrig-bleibt-403956.html> 21.08.2009

plant jedoch bereits die Eröffnung eines Bergwerks zum Abbau des Minerals und führt deswegen aktuell eine Machbarkeitsstudie durch.¹⁴

Als Vision für die Zukunft wird die Gewinnung von Lithium aus Meerwasser mit seinem riesigen Potential von mehr als 220 Mrd. t LCE gesehen. Hauptproblem und wesentlicher Kostentreiber ist der aufwändige Herstellungsprozess. Auf Grund der sehr niedrigen Konzentration von 0,1 – 0,2 ppm müssten nach Untersuchungen der Saga Universität in Japan sehr große Mengen Wasser verarbeitet werden, um eine angemessene Menge Lithium zu gewinnen.¹⁵ Erste Kostenabschätzungen liegen mit 15 – 20 \$/kg auch sehr hoch [Yaksic und Tilton 2009]. Die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet konzentrierte sich bisher auf Japan (Saga Universität) und Südkorea (KIGAM Institut). Anfang 2010 hat die südkoreanische Regierung zusammen mit dem Stahlunternehmen POSCO und dem Koreanischen Institut für Geowissenschaften und Rohstoffe (KIGAM) den Bau einer Pilotanlage für die Gewinnung von Lithium aus Meerwasser bis 2014 bekannt gegeben.

Das Potenzial alternativer Lithiumquellen in Deutschland und Europa ist entweder stark eingeschränkt oder mit einem hohen Kostenaufwand verbunden. Die größten heute identifizierten Ressourcen in Europa werden bereits erschlossen. Aus heutiger Sicht wäre es daher zum einen sinnvoll, weitere neue Rohstoffquellen z.B. an möglichen Geothermiestandorten zu identifizieren und zum anderen die Entwicklungen im Bereich der Gewinnung aus Meerwasser im Auge zu behalten, wenn nicht sogar sogar eigene Forschungsanstrengungen aufzusetzen.

Weiterhin muss langfristig gesehen der Fokus der Batterieforschung erweitert werden. Von der Entwicklung bis zur Realisierung neuer Batterietechnologien in der Praxis vergehen teilweise Zeiträume von bis zu 20 Jahren. Um eine zeitgemäße Umsetzung zu gewährleisten, ist es daher notwendig, bereits heute die Forschung und Entwicklung alternativer Batteriesysteme, die eine bessere Rohstoffversorgungssicherheit garantieren können, auf langfristige Sicht zu fördern. Dazu zählen zum Beispiel Metall-Luft-Systeme (Zn, Al, ...) oder auch ganz neue Konzepte.

7. Risiko Preissteigerungen

Wie bereits dargestellt führen zukünftige Strategien zur Vermeidung von Versorgungslücken in den meisten Fällen zu einem Anstieg der Rohstoffpreise und damit zu einer Erhöhung der Herstellungskosten von Lithium-Ionen-Batterien und anderen Lithium-basierten Produkten. Wie stark ist dabei der Einfluss des Preises für Lithiumcarbonat auf die Herstellkosten einer Batterie? Betrachtet man die aktuellen Gesamtkosten einer Lithium-Ionen-Batterie, hat daran der Rohstoff Lithium nur einen marginalen Anteil. Bei der heutigen Kostenstruktur von Batterien für Elektrofahrzeuge mit ca. 1000 \$/kWh macht Lithium weniger als 1% daran aus. Auch unter Annahme eines erheblichen Preisanstiegs auf 50 \$/kg führt das in diesem Fall zu keiner gravierenden Änderung der Gesamtkosten (Abb. 5).

¹⁴ Artikel der Germany, Trade and Invest vom 28.08.2009: http://www.gtai.de/DE/Content/___SharedDocs/Links-Einzeldokumente-Datenbanken/fachdokument.html?fid=MK200908278015

¹⁵ siehe Saga Universität Japan <http://www.ioes.saga-u.ac.jp/ioes-study/li/research/benchmark.html>

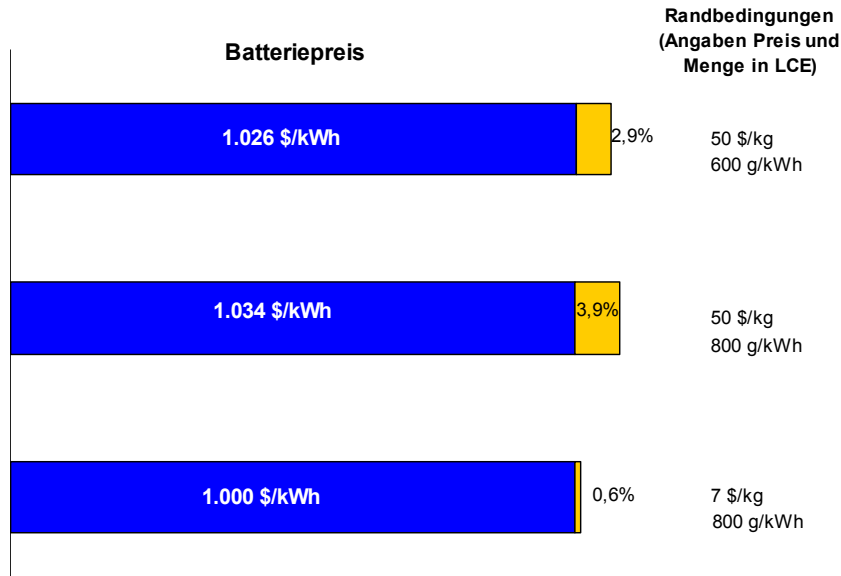


Abb. 5: Sensitivitätsanalyse der heutigen Herstellungskosten der Batterie bei Veränderung des Preises für Lithiumcarbonat und technischer Weiterentwicklung (geringer Bedarf pro kWh).

Bei anvisierten Zielkosten von 250 \$/kWh ist der Anteil der Materialkosten für Lithium unter Annahme heutiger Marktpreise eher als gering anzusehen. Ein massiver Preisanstieg hätte hierbei allerdings bereits größere Auswirkungen auf die Gesamtkosten der Batterie. Eine wahrscheinliche technologische Weiterentwicklung und der damit verbundene geringere Materialeinsatz von LCE würde den Anstieg etwas abmildern. Ein Anteil von ca. 11% würde jedoch immer noch einen großen Einfluss auf die Gesamtkosten haben (Abb. 6).

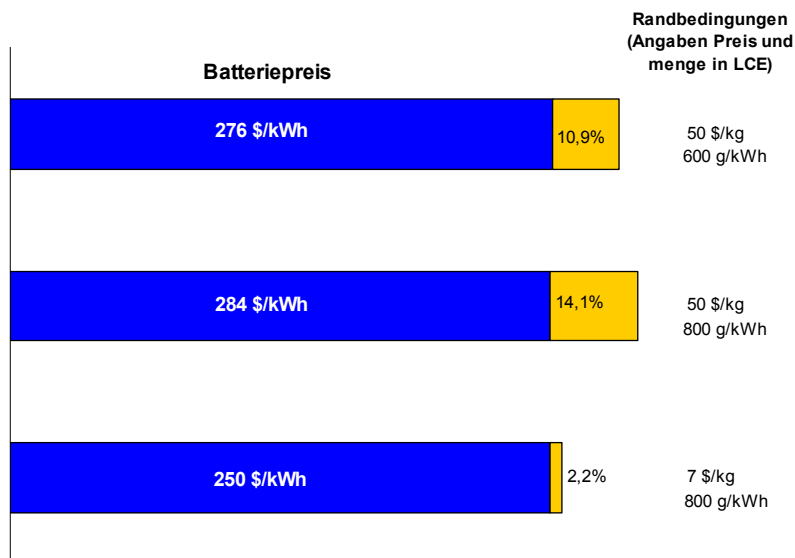


Abb. 6 Sensitivitätsanalyse bei zukünftigen Herstellungskosten der Batterie bei Veränderung des Preises für Lithiumcarbonat und technischer Weiterentwicklung (geringer Bedarf pro kWh).

Aus Gründen der Rohstoffeffizienz und Kostengesichtspunkten muss die Forschung und Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie weiter vorangetrieben werden. Aktuelle Trends zielen so-

wohl auf die Entwicklung neuer leistungsfähiger Materialien für Elektroden- und Elektrolytsysteme als auch auf die Optimierung der Herstellungsverfahren von Lithium-Ionen-Batterien. Die optimale Kombination hoher spezifischer Kapazität und Nennspannung mit einer hohen Materialausnutzung¹⁶ reduziert den notwendigen Materialeinsatz (Abb. 7). Durch den Ersatz z.B. von Cobalt oder von Nickel durch Eisenphosphat oder Mangan wird bei vergleichbarer Leistung zusätzlich neben entstehenden Kostenvorteilen auch eine besser verfügbare Rohstoffbasis geschaffen. Darüber hinaus verringern optimierte Herstellungsverfahren für Batteriezellen und Materialien die benötigten Einsatzmengen und den Rohstoffverbrauch.

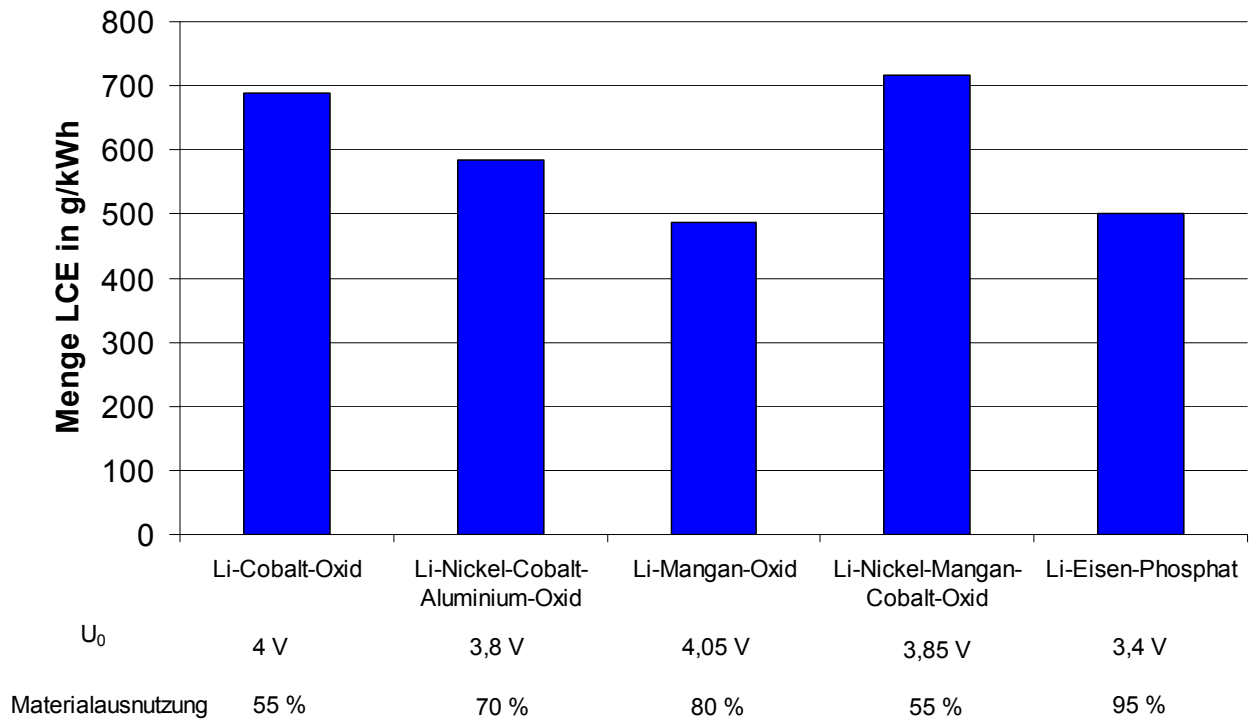


Abb. 7: Vergleich der theoretisch benötigten Menge Li (in LCE) pro kWh unterschiedlicher Aktivmaterialien.

¹⁶ Die Materialausnutzung bezieht sich hier auf das im Aktivmaterial enthaltene Lithium. Beim Laden/Entladen der Batterie wird nicht der komplette Anteil an Lithium-Ionen übertragen.

8. Chancen für die deutsche Wirtschaft

Auch wenn in den nächsten Jahrzehnten nicht mit einer Versorgungslücke und Knappheit an Lithiumrohstoffen zu rechnen ist, können wirtschaftliche als auch geopolitische Entwicklungen verschiedene Risiken für die deutsche und europäische Wirtschaft bergen. Um Versorgungsengpässe zu vermeiden, müssen die Produktionskapazitäten dem Bedarf zeitgleich folgen. Viele neue Firmen werden sich dabei mit neuen Projekten am Markt etablieren. Dies bedeutet eine Chance für deutsche und europäische Unternehmen, sich durch Beteiligungen die langfristige Versorgung zu sichern.

Aus geopolitischer Sicht ist ein strategischer Weitblick erforderlich. Die Lithiumressourcen verteilen sich auf wenige, teilweise politisch instabile Länder. Sinnvolle Maßnahmen zur Risikominimierung, die ebenfalls Entwicklungschancen für die deutsche und europäische Wirtschaft bieten, sind die langfristige Entwicklung neuer Batterietechnologien, die Entwicklung von Recyclingverfahren und die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft sowie die Erschließung von Rohstoffquellen für Lithium in Europa. Dabei sollte man auch die Entwicklungen der Gewinnung von Lithium aus Meerwasser im Auge behalten, da sich die Forschung heute überwiegend in Asien abspielt.

Solange keine neuen alternativen Batteriekonzepte marktreif entwickelt sind (Zeitraum bis zu 20 Jahre), muss weiterhin an neuen Materialien und Konzepten für Lithium-Ionen-Batterien geforscht werden, unter anderem um dadurch den Einfluss des Lithiumpreises an den Materialkosten möglichst gering zu halten. Auch hier ist die deutsche Wirtschaft auf dem Weg den Rückstand gegenüber Asien aufzuholen.

9. Literaturquellen

- BCG 2009: *Comeback of the electric car? How Real, How Soon and What Must Happen Next*. Boston Consulting Group, 2009. Internet: <http://www.bcg.com/documents/file15404.pdf> [Zugegriffen 27.07.2009].
- Byron 2009: *Lithium - The next strategic material*. Byron Capital Markets, Toronto 2009.
- Chemetall 2009: *Statement: Lithium Applications and Availability*. Chemetall GmbH, 2009. Internet: http://www.chemetalllithium.com/fileadmin/files_chemetall/Downloads/Chemetall_Li-Supply_2009_July.pdf [Zugegriffen 28.07.2009].
- Deutsche Bank 2008: *Electric Cars: Plugged In Batteries must be included*. Deutsche Bank Securities Inc., 2008.
- Ebensperger, A.; Maxwell, P. und Moscoso, C. 2005: *The lithium industry: Its recent evolution and future prospects*. *Resources Policy* 30(3): 218-231.
- Evans, R. 2008: *An Abundance of Lithium*. Internet: http://www.worldlithium.com/An_Abundance_of_Lithium_1_files/An%20Abundance%20of%20Lithium.pdf [Zugegriffen 9.12.2009].
- Fraunhofer ISI 2009: *Lithium für Zukunftstechnologien*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe 2009. Internet: www.isi.fraunhofer.de/isi-de/n/.../Lithium_fuer_Zukunftstechnologien.pdf [Zugegriffen 26.01.2010].
- Fraunhofer ISI und IZT 2009: *Rohstoffe für Zukunftstechnologien Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung und Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin 2009.
- Lithium One 2010: Pressemitteilung der Lithium One Inc. vom 4. Juni 2010. Internet: http://www.lithium1.com/news_.php?url=http%3A%2F%2Fcnr.marketwire.com%2Fclient%2Flithium_one%2Frelease_xml.jsp%3FactionFor%3D1271173 [Zugegriffen 07.06.2010]
- Lithium Americas 2010: Zeichnungsprospekt der Lithium Americas Corp. vom 06. März 2010. Internet: http://www.lithiumamericas.com/_resources/prospectus.pdf [Zugegriffen 07.06.2010]
- OICA 2008: International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA), *World motor vehicle production 2008*, <http://oica.net/category/production-statistics/> (26.01.2010)
- Orocobre 2010: Pressemitteilung der Orocobre Ltd. vom 20. Januar 2010. Internet: http://www.orocobre.com.au/PDF/ASX_20Jan10_Orocobre%20and%20Toyota%20Tsusho%20Announce%20JV.pdf [Zugegriffen 17.02.2010]
- Roland Berger 2009: *Powertrain 2020- China's ambition to become market leader in E-Vehicles*. Roland Berger Strategy Consultants, Munich/Shanghai 2009. Internet: http://www.rolandberger.com/expertise/publications/2009-09-15-rbsc-pub-Powertrain_2020_The_Future_Drives_Electric.html [Zugegriffen 13.05.2009].
- Sarasin 2009: *Solarwirtschaft – grüne Erholung in Sicht*. Bank Sarasin & Cie AG, Basel 2009.
- Tahil, W. 2008: *The Trouble with Lithium 2 - Under the Microscope*. Meridian International Research, 2008. Internet: www.meridian-int-res.com/Projects/Lithium_Microscope.pdf [Zugegriffen 9.12.2009].
- TNR 2010: *Lithium - The Green Alternative*. Internet: <http://www.tnrgoldcorp.com/i/pdf/TNRLi.pdf> [Zugegriffen 17.03.2010].
- Yaksic, A. und Tilton, J.E. 2009: *Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: The case of lithium*. *Resources Policy* 34(4): 185-194.
- USGS 2010: *2008 Minerals Yearbook* und *Mineral Commodities Summaries – Lithium 2010*, U.S. Geological Survey 2010. Internet: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/> [Zugegriffen 16.02.2010]
- USGS 2010a: *Mineral Commodities Summaries – Lithium 2010, Appendix C*, U.S. Geological Survey 2010. Internet: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2010/mcsapp2010.pdf> [Zugegriffen 16.02.2010]
- USGS 2010b: Persönliche Kommunikation mit Brian Jaskula vom 26.03.2010, U.S. Geological Survey, Spezialist Lithium