

Wasserverbrauch durch Lithiumgewinnung/-aufbereitung und Akkuherstellung für E-Autos in Brandenburg – eine Analyse der jetzigen und künftigen Situation, beauftragt von correctiv.de

Autor: Andrew Moore (Dr. rer. nat.), selbstständiger und unabhängiger Wissenschaftler

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

- 1. Das Wichtigste in aller Kürze**
- 2. Wasserverbrauch in der Lithiumhydroxidherstellung**
- 3. Wo liegt die Wahrheit? Betrachtung der Werte aus Absätzen 1. bis 7.**
- 4. Wasserverbrauch der Akkuherstellung in der Fabrik (cell and battery-pack assembly), und was berichtet Tesla?**
- 5. Stellung einer Relation zum realen Leben: das Beispiel von Brandenburg und Tesla (Erzgebirge/Guben)**
- 6. Was sind die „Ambitionen“ von Tesla in Relation zu der geplanten Lithiumaufbereitung in Guben? Die geplante Lithiumaufbereitung reicht nicht...**
- 7. Wer will, dass die Akkuherstellung und die E-Auto Produktion in Brandenburg so expandiert? Tesla und die EU...**
- 8. Das Grundwasserproblem in Deutschland**
- 9. Anhang**
 - I. Verfahrenskette der $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Herstellung aus dem Erz *Spodumen*, und Angaben dazu, wo wesentliche Mengen Wasser verbraucht wird**
 - II. Daten aus einer wissenschaftlichen Veröffentlichung im Dezember 2022, und Berechnungen basierend darauf**

Vorwort

Diese Analyse wurde auf der Basis publizierter Artikel aus der Forschungsliteratur sowie aus den allgemeinen Medien geschrieben. Sie beinhaltet auch vom Autor, auf der Basis von Werten aus unterschiedlichen publizierten Quellen, selbst errechnete Zahlen. Auf Basis der Quellen konnte eine Abschätzung der Verbrauchs gemacht werden, allerdings mit der Einschränkung, dass nicht bekannt ist, ob Anteile wieder in das Grundwassersystem zurückgeführt werden können. Die Analyse nimmt an, wie in verschiedenen Berichterstattungen über das Thema zu lesen ist, dass eine Masse von 24.000 Tonnen Lithiumhydroxid ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) pro Jahr in der geplanten Aufbereitungsanlage hergestellt wird, und zwar aus der dafür notwendigen Menge Spodumen Erz (Erz, das Lithium enthält) aus dem Erzgebirge (abgebaut mit herkömmlichen Bergbaumethoden). Einsichten und Prognosen bezüglich der damit verbundenen E-Autoindustrie in Grünheide werden auch dargestellt. Auch dieses sind Schätzungen des Möglichen. Um die hierin präsentierte Analyse nicht unnötig zu verkomplizieren, werden viele Berechnungen nicht dargestellt; sind jedoch auf Anfrage erhältlich.

1. Das Wichtigste in aller Kürze

Der wahrscheinliche Wasserverbrauch durch die Gesamtkette der Lithiumaufbereitung und Akkuherstellung in Brandenburg ist deutlich größer als generell berichtet wird. Die Größenordnungen sind mit den Verbräuchen von mittelgroßen Städten zu vergleichen, und etwa ein Viertel des „verbrauchten“ Wassers dürfte so kontaminiert sein, dass es nicht in natürliche Wassersysteme zurückgeführt werden könnte; was mit diesem kontaminierten Restwasser passieren soll ist unklar. Geschäftsentwicklungen bei Tesla legen die Vermutung nahe, dass das Ausmaß der Lithiumaufbereitung in Brandenburg deutlich höher ausfallen könnte, als die angegebenen 24.000 Tonnen Lithiumhydroxid pro Jahr.

- **Wasserverbrauch der Lithiumgewinnung aus Erz – die Bandbreite:** Der errechnete Wasserverbrauch – nur durch den mit dem Bergbau und der chemischen Umwandlungen verbundenen Verfahren – liegt sehr wahrscheinlich **zwischen 100 und etwa 600 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver.**
- **Viel Wasser wird verbraucht, und viel bleibt nach den Verfahren „unbrauchbar“.** Aus Zahlen im Bericht vom Bund (*Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, siehe unten Überschrift 2. Paragraph 2.) ist zu berechnen, dass fast **100 Tonnen Wasser pro aufbereitete Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver nicht direkt in das natürliche Wassersystem (zurück)geführt werden können, weil sie zu stark kontaminiert sind; ob weniger stark kontaminiertes Wasser in das Grundwassersystem zurückgeführt werden kann, bleibt eine offene Frage. Die Zahlen aus dem Bundesbericht deuten darauf hin, dass der **Wasserverbrauch** (Summe starkkontaminiertes + leichtkontaminiertes Wasser) insgesamt deutlich höher ausfällt als generell angenommen wird.**
- **Wasserverbrauch durch Lithiumgewinnung – eine plausible Zahl:** Aus meinen Berechnungen ergeben sich **ca. 400 Tonnen Wasser pro Tonne fertiges $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver.**
- **Eine Relation zum realen Leben:** 400 Tonnen Wasser \times 24.000 Tonnen $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ pro Jahr ergibt **9.600.000 Tonnen Wasser pro Jahr, was dem Wasserverbrauch einer Stadt der Größe von Mainz (219.178 Einwohner) pro Jahr entspricht. Etwa 2.400.000 Tonnen dieses Wassers nach „Verbrauch“ darf nicht direkt in natürliche Wassersysteme gelangen, weil es zu stark kontaminiert ist.**

- **Wasserverbrauch, der zusätzlich durch die Akkuherstellung in der Tesla Fabrik anfällt:** Wenn tatsächlich die 50 GWh Akkukapazität pro Jahr hergestellt wird, könnte **fast 2,8 Millionen Tonnen mehr Wasserverbrauch pro Jahr hinzukommen. Tesla hatte nur 1,4 Millionen Tonnen Wasser angegeben.**
- **Das wahrscheinliche Gesamtbild des Wasserverbrauchs:** Schließt man den vermuteten Wasserverbrauch bei der Akkuherstellung in der Tesla Fabrik (2.780.000 Tonnen Wasser pro Jahr) mit ein, **ergeben sich 12.380.000 Tonnen Wasser pro Jahr, entsprechend dem Wasserverbrauch einer Stadt wie Wiesbaden (283.000 Einwohner).**
- **Wie steht der Wasserverbrauch im Verhältnis zum bestehenden Grundwasserschwind?** Der geschätzte Wasserverbrauch von 12.380.000 Tonnen pro Jahr für Lithiumhydroxidherstellung und Akkuproduktion, entspricht einer Menge, die, wenn aus den Brandenburgischen Grundwasserspeichern genommen, und nicht vollständig in diese zurückgeführt wird, einem **Anstieg von fast + 6% (5,98) des derzeitigen Grundwasserschwindes in diesem Bundesland gleicht.**
- **Der Lithiumbedarf von Tesla in Relation zur geplanten Aufbereitung:** Wenn Tesla bis 2025 500.000 E-Fahrzeuge pro Jahr in Grünheide bauen will, **so beträgt die Menge an von Tesla benötigten $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ weitaus mehr als die geplante Aufbereitungsmenge (24.000 Tonnen/J).** D.h. wird die geplante Lithiumaufbereitung in Brandenburg im Endeffekt sehr viel größer ausfallen, um die 500.000 Autos pro Jahr mit Batterien ausstatten zu können...?!
- **Wer will was?** Deutschland hat sich mit der „Freigabe“ des Standorts bereit erklärt, die Lithiumgewinnung entscheidend zu unterstützen; und offensichtlich will **die Europäische Kommission den Bau der Lithiumaufbereitungskapazität in Zentraleuropa**, und zwar unter der Annahme, dass diese Kapazität der europäischen E-Autoherstellung zugute käme. **Tesla will selbstverständlich den Bau rasch verwirklicht sehen. Ob in Brandenburg die Lithiumaufbereitung schließlich tatsächlich europäischen Autobauern dienen wird...?**
- **In etwas fernerer Zukunft...** Da sich die Europäische Kommission Mitte Februar 2023 durch eine unmissverständliche Erklärung von der Technologieneutralität und Technologieoffenheit im Bereich persönliche Beförderungsmittel (PKWs) verabschiedet hat – d.h. keine anderen Möglichkeiten, nur Elektroantriebe für PKWs – kann man davon ausgehen, dass **in Deutschland immer mehr Lithiumaufbereitungsanlagen entstehen, und deren Umweltauswirkungen immer größere Probleme bereiten werden.**
- **Noch weniger bekannt, aber vermutlich eine zusätzliche Studie wert...** Wie sieht die ganze Abwassersituation aus? – d.h. kontaminierte Flüssigkeit aus dem Bergbau und der chemischen Aufbereitung von $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$. Wie viel? Wie gelagert? Welche Umweltauswirkungen im Falle eines Unfalls?...

2. Wasserverbrauch in der Lithiumhydroxidherstellung

Die Angabe des Wasserverbrauchs bei der Gewinnung des Lithiumerzes und der Verarbeitung zu Lithiumhydroxidpulver ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) variiert stark, je nach Studie. Es gibt einen Konsens, dass der größte Teil des Wasserverbrauchs beim Abbau und der Aufbereitung des hochkonzentrierten Spodumens (Erz) anfällt. Es ist jedoch sehr schwer, alle Komponenten der Kette genau zu analysieren; praxisnahe Werte kommen aus der Bergbauindustrie selbst, und können schwer von unabhängigen verifiziert werden.

Im Folgenden ist eine Zusammenfassung unterschiedlicher Studien und Werte zu lesen, die die Streuung der Werte aufzeigt:

1. Analysenartikel (<https://www.fineprint.global/publications/briefs/lithium/>) (Wissenschaftler von der Vienna University of Economics and Business (WU)), die Autoren schreiben „we extended the lithium flow analysis by assessing the water requirements along the Lithium-EV supply chain“ und „It is not straightforward to disaggregate the water-use impacts specifically stemming from mining lithium as it is often mined together with other raw materials such as copper or potassium. However, using triangulation of different data sources [2], we managed to estimate the freshwater-use associated with the mining of lithium from both brines and ores for production Stages 1 and 2. (deutsch: *Wir haben die Lithiumdurchlaufanalyse um den Wasserbedarf entlang der Lithium-E-Auto Lieferkette erweitert ... Es ist nicht einfach, die Auswirkungen des Wasserverbrauchs für die Gewinnung von Lithium aus dem Gesamtbetrag herauszurechnen, da Lithium oft zusammen mit anderen Rohstoffen wie etwa Kupfer oder Kalium abgebaut wird. Mithilfe der Triangulation ist es uns gelungen eine Schätzung des Wasserverbrauchs in der Lithiumaufbereitung von Solen oder aus Erz für Herstellungsstadien 1. und 2. zu erstellen.*) N.B. beim Abbau im Erzgebirge ist kein Abbau anderer Rohstoffe zusätzlich zu Lithium geplant.

Die oben genannten Zitate aus dem Artikel beziehen sich auf folgende Tabelle im Artikel:

Basic Chemical	LCE (t)	l/t of LCE	Total freshwater use (bn l)
Ore	30,380		77.031
Li ₂ CO ₃	22,290	1,077,000	24.007
LiOH	8,539	6,209,000	53.025

Figure 3: Freshwater use for Li₂CO₃ and LiOH production associated with lithium-EV supply chain in 2017. Werte sind pro Tonne Produkt. l/t bedeutet liter (Wasser) pro Tonne. „Ore“ bezieht sich auf Lithiumhydroxid aufbereitung aus Erz (Spodumen), so wie in Brandenburg geplant. Also, Fazit hier: **6.209 Tonnen Wasser für eine Tonne fertiges Lithiumhydroxidpulver.**

Ich habe die weitere Zeilen in der Tabelle ausgelassen, da diese sich auf die Lithiumaufbereitung aus Solen beziehen.

Die Hauptdatenquelle des obigen Artikels (Referenz 2), ist <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aae9b1>, publiziert beim Fachblatt *Environmental Research Letters*. Darin schreiben die Autoren „Our analysis finds that research on the socio-environmental impacts of lithium extraction at local level has been very limited. We discuss some research directions to address the knowledge gaps in terms of specific research topics, methodologies, and broader system perspectives. (deutsch: *Unsere Analyse zeigt, dass die Forschung bzgl. der gesellschaftlichen und umweltrelevanten Auswirkungen der Lithiumaufbereitung auf lokaler Ebene sehr begrenzt ist. Wir zeigen die existierenden Wissenslücken auf.*)

Es bestehen also große Wissenslücken über die tatsächlichen Auswirkungen der Akkuwirtschaft auf lokaler Ebene.

Die in rot umkreiste Zahl in der obigen Tabelle, beziffert die Menge an Wasser (Freshwater = Süßwasser, oder normales, nicht mit Salzen belastetes Grundwasser) die für die Herstellung einer Tonne von Lithiumhydroxid für die Akkuproduktion benötigt wird. WICHTIG: maßgeblicher Bestandteil dieser Berechnungen sind Zahlen aus einer unveröffentlichten Präsentation von der südamerikanischen Bergbau- und Chemiefirma SQM (Sociedad Química y Minera) und Aussagen aus einem *privaten* Interview, das die Forscher mit einem Vertreter von SQM durchgeführt haben.

In diesem Artikel schreiben die Autoren „As the BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2020) emphasizes, mining lithium from ores, such as spodumene, requires large amounts of water for crushing and especially grinding the rock, as well as for the subsequent refinement process. The used water then is transferred into so-called tailing ponds from which it can be partly reused after the impurities have settled, however, about 40% of the tailings pond volume remains in the form of pore and adhesive water, i.e., non-usable waste (BGR, 2020, p. 9). Therefore, large quantities of water are being contaminated throughout the mining process, remaining in those tailings and eventually threatening both the ground water and the surrounding ecosystem.“ (deutsch: *Wie die BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover) betont, benötigt der Abbau von Lithium aus Erzen, wie etwa Spodumen, große Mengen an Wasser zur Zerkleinerung und (besonders) zur Pulverisierung des Gesteins, sowie für das darauffolgende Aufbereitungsverfahren. Anschließend wird das verbrauchte Wasser in so genannte „Tailing Ponds“ (Sedimentierungsbecken) gelagert, woraus es zu einem Anteil wiederverwendet werden kann, nachdem die Sedimente ausgefallen sind. Allerdings bleibt etwa 40% des Beckenvolumens in Form von Wasser zurück, das mit dem Gesteinschlamm assoziiert bleibt, d.h. unbrauchbares Wasser (BGR, 2020, Seite 9). Aus diesem Grund werden große Wassermengen durch den Bergbau kontaminiert, die in diesen Sedimentierungsbecken verbleiben, und damit des Grundwassers und die umliegenden Ökosysteme gefährden.*) Siehe BGR Bericht 2020: https://www.bgr.bund.de/EN/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/lithium_en.pdf accessed 16.02.2023 siehe unten.

Ich habe mit den Erst- und Letztautoren der Studie (<https://www.fineprint.global/publications/briefs/lithium/>) Kontakt aufgenommen. Mir wurde der ganze schickte mir den vollen Artikel, in welchem Anhang die ganze Transkript des Interviews mit dem Vertreter von SQM zu lesen war, so dass ich die Behauptungen nachvollziehen konnte.

2. Bericht vom Bund (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)

(https://www.bgr.bund.de/EN/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/lithium_en.pdf accessed 16.02.2022), wo nur der Wasserverbrauch bei der Herstellung des konzentrierten Li_2O (max. 6% Masse des Gesamtgesteingewichts) betrachtet wird, der zwischen 12 und 17 Tonnen pro Tonne Li_2O haltiges Gestein liegen dürfte (je nach Verfahren) – **allerdings ist dies NUR DIE MENGE „UNRECOVERABLE WATER“, sprich „NICHT ZURÜCKGEWINNBARES WASSER“ der BEDARF an Wasser, per se, wird nicht erwähnt, UND, nach diesen Schritten des Gesamtverfahrens müssen noch die Verfahren erfolgen, die 100% reines $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ herstellen, wodurch weitere Mengen nichtzurückgewinnbares Wasser zustande kommen.** Nehmen wir einen Mittelwert von 14,5 Tonnen Wasser pro Tonne Li_2O haltiges Gestein (und beziehen wir das molare Verhältnis von Li_2O zu $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ein), so kommen wir auf ein absolutes Minimum von **86 Tonnen Wasser, die nicht zurückgewonnen werden können. Damit kann die Menge an Li gewonnen werden aus der später eine Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ entsteht** (d.h. ohne irgendwelche Verluste, was nicht realistisch ist, aber...). Das war die Bereitstellung der benötigten Menge „Substrat“: dann muss man den Wasserverbrauch für die *Umwandlung* des Li_2O in $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ hinzufügen; diese Zahlen bzgl. Wasserverbrauchs werden aber nicht angegeben. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921003712> (2021) ist zu entnehmen, dass der Schritt von Li_2O zu $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 11,24 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ benötigt. Also, 86 plus 11,24 = **97,24 Tonnen Wasser. Allerdings ist dies nicht der Bedarf, sondern ein Wert der laut meiner Recherche, nah an den Minimalwert für die Menge an Wasser grenzt, die man – unter idealen Bedingungen – bei diesem Verfahren – verbrauchen würde, d.h. in Form von kontaminiertem gelagerten Wasser (Tailings Dams = Sedimentierungsbecken) und Verdunstung.** Im obigen Bericht vom Bund wird die Menge „nichtzurückgewinnbares Wasser“ bei 40% des Gesamtverbrauches für diese bestimmten Teile der Herstellungskette beziffert. Um auf 100% zu kommen, d.h. mutmaßlichen Wert für den GESAMTWasserverbrauch dieser Schritte, muss $\times 2,5$ multiplizieren, ergebend einen Wert von $2,5 \times 97,24 =$ **243 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver**, allerdings nur für definierte Teile des Bergbaus und der Chemie, also

nicht die gesamte Belastung inkl. Herstellung von Chemikalien, Materialien, Strom, allgemeiner Betrieb des Bergbaus usw. usw. errechnen.

3. Forschungsartikel (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921003712> 2021) (**Wissenschaftler von Argonne National Laboratory, USA**): Aus verschiedenen veröffentlichten Quellen (Forschungs- und Reviewartikeln, siehe Tabelle 6 in dem Artikel) stellen die Autoren die Umweltbelastungen der Li-Ionen-Akkusherstellungskette in diversen Tabellen dar. Anhand von Prozent- und Massenangaben der Herstellungskette von Spodumen Erz, durch Konzentrierung, bis hin zur chemischen Umwandlung des Li_2O in $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ kann man mit einfachen Methoden einen Wert von **91 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver**, allerdings nur für definierte Teile des Bergbaus und der Chemie, also nicht die gesamte Belastung inkl. Herstellung von Chemikalien, Materialien, Strom, allgemeiner Betrieb des Bergbaus usw. usw. errechnen.

4. Reviewartikel (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922004670> 2022): Aus diesem Reviewartikel, mit vielen Einzelhinweisen auf die Primärforschungsliteratur der vergangenen Jahre, kann man den Wasserverbrauch wie folgt berechnen (siehe Daten aus Table 3. „Unit process comparison for the current and future lithium supply routes from spodumene“). Anhand der Durchschnittswerte für den Wasserverbrauch bei der Konzentrierung des Spodumen Erzes multipliziert mit 9,03 (Durchschnittswert für die Menge konzentriertes Spodumenerz die benötigt wird für die Herstellung einer Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$, plus Durchschnittswasserverbrauch für die Herstellung einer Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ aus konzentriertem Spodumen Erz), kommt man auf etwa **98 Tonnen Wasser für die Herstellung von einer Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver**.

5. Forschungsartikel (<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212827122001135?token=120FAF0D3886D241900AD26BBC137E642AE53451C29FB4E79D967D79E08C2563403C6818720E6E5FA42CC358FAF4E23D&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230216125023> 2022): Als Quelle für die angegebenen Zahlen hat man eine Kombination aus veröffentlichten Daten (Fachliteratur) und eigenen Laborversuchen verwendet: Vorteil an Letzterem ist, dass die genauen Werte kontrolliert werden konnten, weil die Forscher sie selber gemessen haben. Für 100 kg Spodumenerz wird ein Wasserverbrauch von 191,7 kg für die Herstellung von 0,3 kg $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ berechnet. Rechnet man dies hoch auf 1 kg $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (d.h. mal 3.33), so kommt man auf 638 kg Wasser pro kg $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$, d.h. fast **640 Tonnen Wasser pro Tonne fertiges $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver**.

6. Meine „eigenen“ Berechnungen, anhand von Daten aus den obigen Referenzen 3., 4., 5.: Bei Anwendung von molaren Äquivalenzen für den Materialfluss des ganzen Verfahrens vom Spodumenerz bis hin zum $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver (M_r Spodumen inkl. aller Bestandteile $M_r \text{Li}_2\text{O}$ (in Spodumen) = 30 g/mol; $M_r \text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ = 42 g/mol) lässt sich einen Wert von **387 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver** errechnen. Wenn man den Wasserverbrauch für die Herstellung der wesentlichen Chemikalien für die Aufbereitung des Spodumen Erzes und chemische Umwandlung des Spodumens in $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ hinzurechnet (siehe Anhang) kommt man auf **400 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Pulver**.

7. Könnte es noch größere Mengen Wasser sein? In einem der neusten Reviewartikel über Lithiumaufbereitung <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922004670> (2022) – siehe auch 4. oben – steht eine sehr nützliche Aufzählung der Chemikalien, die für die $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ aus Spodumen Erz benötigt werden. Die Durchschnittswerte aus dieser Tabelle (Table 3) – und siehe Anhang im jetzigen Dokument – lassen diese zusätzliche Belastung errechnen. Diese Berechnungen zeigen, dass mindestens 12 Tonnen mehr Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ verbraucht werden, und zwar wegen der Herstellung der für die $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Produktion benötigten Chemikalien, allen voran Schwefelsäure (H_2SO_4) und Natronlauge (Natriumhydroxid: NaOH).

3. Wo liegt die Wahrheit? Betrachtung der Werte aus Absätzen 1. bis 7.

Die Werte aus der früheren Sektion des jetzigen Berichts malen etwa die Spannweite der Rechnungen der benötigten Wassermasse pro Tonne hergestelltes $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ für den Akkubau aus der Literatur ab, je nachdem wie viele der mit der Gesamtkette verbundenen Verfahren und Prozesse man einschließt. Ohne Frage, schließt man „Wasserverbrauch“ im Sinne von Wasserströmung durch Turbinen von Hydroelektrikanlagen mit ein, sind Werte erreichbar, die noch höher sind als die aus Abschnitt 1. oben. Lässt man aber Supply Chain Impacts – Lieferketten / Substanz- und Gegenstandsherstellung – außen vor, so berechnet man eher zu niedrige Werte, was auch der Fall ist in den meisten zum Thema Lithiumgewinnung/-aufbereitung veröffentlichten Artikeln. Fazit: in dieser Bereich der Literatur ist große Vorsicht geboten!

Durch die jetztige Analyse und meine allgemeine Erfahrung der Literatur und Werte in diesem Bereich neige ich dazu, einen Wert **irgendwo zwischen dem Höchstwert von 640 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (5.) und 91 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (3.)** zu „wählen“, der nur die reine Kette des Lithiumabbaus und die chemischen Umwandlungen repräsentieren. Der Wert, von **400 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$** , den ich mit unabhängiger Methodik (dafür basierend auf publizierten Stammdaten) errechne, ist, meiner Meinung nach, **nicht weit entfernt von einer durchschnittlichen „Wahrheit“** der in diesem Bericht beschriebenen Wirtschaftsbranche. Warum denke ich, dass dieser Wert plausibler ist als deutlich niedrigere Werte? Die Quellen meiner Daten spannen eine Breite zwischen Angaben aus Wirtschaftsberichten, Zahlen aus mehreren Artikeln von Experten in der Batterieforschung sowie Artikeln in denen Forscher ihre eigenen Versuche gemacht und daher Ergebnisse gewonnen haben: oft habe ich Mittelwerte genommen, und durch meine breite Auswahl an Quellen habe ich bessere Chancen, alle Stellen des Wasserverbrauchs zu identifizieren, als wenn ich mich auf nur eine oder zwei Studien beziehen würde.

Allerdings ist der Wert von 400 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ mit Vorsicht zu genießen, und er stellt, meines Erachtens, ein Minimum für die Praxiswerte dar. Der Wert schließt nämlich nicht die mit dem Bergbau, Transport und Energieerzeugung *verbundenen* Prozesse ein: betrachtet nur auf der Ebene der Region in Brandenburg, die für die Lithiumaufbereitung vorgesehen ist, sind diese zusätzlichen Belastungen zum Teil zutreffend oder nicht zutreffend, z.B. der Strom für die Aufbereitung, die Maschinerie hierfür, die Chemikalien usw. müssen nicht unbedingt in Brandenburg oder in der unmittelbaren Nähe von der Aufbereitung betroffene Region hergestellt werden. **Dennoch wäre es wichtig auf bundesweiter Ebene, diese Belastungen doch einzuberechnen, wonach der Wert von 400 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ wahrscheinlich nachvollziehbar ist (jedoch als Minimumwert).**

4. Wasserverbrauch der der Akkuherstellung in der Fabrik (cell and battery-pack assembly), und was berichtet Tesla?

Dieser Wert ist auch nicht einfach zu beziffern, aber bei <https://www.mdpi.com/2313-0105/5/2/48> (2019) liest man, dass 7,4% des Wasserverbrauchs der ganzen Kette von Mineraliengewinnung bis hin zu den fertigen Akkuzellen bei der Herstellung (Assembly / Zusammenbau) der Akkuzellen selbst anfällt. Von Figure 2 (Abbildung 2) in dieser Studie erfährt man, dass 752 Liter Wasser pro kWh Akkukapazität insgesamt verbraucht werden. 7,4% von 752 Liter = 55,6 l/kWh hergestellte Akkukapazität. Derzeit kann Tesla in Grünheide bis 50 GWh (Gigawattstunden) pro Jahr an Akkukapazität herstellen, d.h. 50 Millionen kWh. Also, $50 \times 10^6 \times 55,6 = 2.780.000.000$ Liters = **2,78 Millionen Tonnen Wasser pro Jahr. Anfangs hatte Tesla den beabsichtigten Wasserverbrauch mit 3,6 Millionen Tonnen (Kubikmeter) pro Jahr beziffert, um kurz danach**

den Betrag auf 1,4 Millionen zu senken. Diese Zahlen sind in vielen Medienberichten von 2020 bis 2022 zu finden. Wenn tatsächlich die 50 GWh Akkukapazität pro Jahr hergestellt wird, ist es schwer zu glauben, dass nur 1,4 Millionen Tonnen Wasser dafür verbraucht werden, sondern etwa das Doppelte, oder ein bisschen mehr Wasser als Frankfurt (Oder), anhand der derzeitigen Einwohnerzahl.

5. Stellung einer Relation zum realen Leben: das Beispiel von Brandenburg und Tesla (Erzgebirge/Guben)

Wie „viel“ sind diese 400 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$? Rechnet man die Zahl hoch auf die geplante Produktionsmenge von 24.000 Tonnen Lithiumhydroxid pro Jahr bei der Lithiumaufbereitung in Brandenburg (Guben) so kommt man auf 9.600.000 Tonnen Wasser pro Jahr. In Deutschland verbraucht (inkl. Trink-/Wasch-/Spül-/Gartenwasser usw.) jeder Mensch zwischen 90 und 150 Liter Wasser pro Tag; Durchschnitt 120 Liter pro Tag (<https://wasserblog.hft-stuttgart.de/wieviel-wasser-brauchen-staedte> accessed 16.02.2023). **9.600.000 Tonnen Wasser entspricht also etwa 219.178 Menschen, oder einer Mittelgroßen Stadt wie etwa Mainz.**

Wenn tatsächlich die 50 GWh Akkukapazität pro Jahr in der Tesla Fabrik hergestellt wird, ist es unwahrscheinlich, dass nur 1,4 Millionen Tonnen Wasser (Teslas Angabe) dafür verbraucht werden, sondern etwa das Doppelte, wie früher erwähnt.

Schließt man den vermuteten Wasserverbrauch bei der Akkuherstellung in der Tesla Fabrik (2.780.000 Tonnen Wasser pro Jahr) mit ein, erreicht man 12.380.000 Tonnen Wasser pro Jahr, oder etwa den Wasserverbrauch von 283.000 Menschen, oder einer Stadt wie Wiesbaden.

Deutschlandweit (siehe <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/03/hydrologen-warnen-deutschland-trocknet-aus>) verlieren Grundwasserleiter (Aquifer) 2,5 Gigatonnen (2,5 Tausendmillionen Tonnen Grundwasser pro Jahr). Laut Dürremonitors (<https://www.ufz.de/index.php?de=37937> accessed 20.02.2023) trocknet Brandenburg am schnellsten aus. Aber stellen wir uns vor, Brandenburg würde nur durchschnittlich „austrocknen“: dann verlöre das Bundesland etwa (anteilig Grundfläche) 207.000.000 Tonnen Grundwasser pro Jahr. **Der geschätzte Wasserverbrauch von 12.380.000 Tonnen pro Jahr für Lithiumhydroxidherstellung und Akkuproduktion, entspricht einer Menge, die, wenn aus den Brandenburgischen Grundwasserspeichern genommen, und nicht 1:1 diesen zurückgeführt wird, einem Anstieg von fast + 6% (5,98) des derzeitigen Grundwasserschwundes in diesem Bundesland gleichen würde.**

Mehr zum Thema aus den Medien: Die geplante Akkufabrik in Brandenburg wird, laut Pressemitteilung, eine Menge von 24.000 Tonnen Lithiumhydroxid ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) pro Jahr benötigen, um die geplante Herstellung von 500.000 Lithium Ionen Akkus für E-Autos pro Jahr zu gewährleisten – siehe **Brandenburg: Größte Lithium-Fabrik Europas liefert ab 2024 Rohstoff für 500.000 E-Autos jährlich (Brandenburg: Largest lithium factory in Europe will produce material for 500,000 EVs per year from 2024).** t3n news. Accessed August 2, 2022. <https://t3n.de/news/lithium-fabrik-brandenburg-1415635/>

Inzwischen ist das Startdatum auf 2025 verschoben worden: <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/lithium-rock-tech-kann-mit-bau-von-lithium-produktionsanlage-in-brandenburg-beginnen-a-22e286f3-ce04-4150-9b0f-9ab4608ec5db> (accessed 13.02.2023). In der obigen Referenz ist auch die Menge von 24.000 Tonnen Lithium Hydroxid pro Jahr erwähnt.

Die Bergbau Firma, die in den obigen Feature Artikeln zum Thema Lithiumaufbereitung in Brandenburg erwähnt wird ist „Rock Tech“ (siehe: <https://www.rocktechlithium.com/de>). Rock Tech ist ein kanadischer Konzern. Der Standort der geplanten Aufbereitungsanlage (nur für Lithiumhydroxid) ist Guben.

Neuste Berichterstattung:

<https://taz.de/Gigafactory-bei-Berlin!/5895938/>

Woraus ich zitiere „Zunächst hatte Tesla seinen Wasserbedarf mit 3,6 Millionen Kubikmeter Wasser pro Jahr angegeben, diese Angaben dann jedoch auf 1,4 Millionen Kubikmeter reduziert, das ist immer noch der Wasserverbrauch einer Kleinstadt.“

Meinen Schätzungen zufolge könnte der *derzeitige* Verbrauch von Wasser am Standort Grünheide fast doppelt so hoch sein, sprich fast 2,8 Millionen Kubikmeter (d.h. Tonnen) Wasser pro Jahr, wenn nicht mehr: der Wert, den ich für Cell Assembly errechnet habe inkludiert nicht der Wasserverbrauch für die Herstellung des Rests eines Fahrzeuges.

Insbesondere, siehe auch folgendes im obigen Artikel:

„Für neue Bauvorhaben ist nicht genug Wasser da

Lange-Siebenthaler befürchtet, dass eine erhöhte Förderung zugunsten von Tesla nicht nur die Wasserknappheit in der Region verschärfen, sondern auch Naturschutzgebiete wie das nahe gelegene Löcknitztal bedrohen könnte: „Aufgrund der durch die Wasserförderung bedingten Grundwasserabsenkung besteht die Gefahr, dass das Ökosystem Löcknitztal mit seinen äußerst sensiblen Niedermoorbereichen gravierend beeinträchtigt und damit die hier vorkommenden geschützten und bedrohten Pflanzen sowie Tiere gefährdet wären. Auch Auswirkungen der Förderung auf das nahe gelegene FFH-Gebiet Müggelspree müssen untersucht werden.“ (*FFH steht für Fauna-Flora-Habitat.*) Auch der Straussee könnte weiter an Wasser verlieren.,,

Und dann soll eine Lithiumaufbereitung in Brandenburg auch noch entstehen... Der ganze Artikel ist sehr lesenswert, und bringt viele Gefahren für Wasser, die durch das Tesla Werk entstehen, zum Vorschein.

An einer früheren Stelle im obigen Artikel steht „Zunächst hatte Tesla seinen Wasserbedarf mit 3,6 Millionen Kubikmeter Wasser pro Jahr angegeben, diese Angaben dann jedoch auf 1,4 Millionen Kubikmeter reduziert, das ist immer noch der Wasserverbrauch einer Kleinstadt. Diese Menge konnte der zuständige [Wasserverband Strausberg-Erkner](#) (WSE) nicht zur Verfügung stellen und beantragte beim übergeordneten Landesamt für Umwelt eine Erhöhung der Fördermenge an drei Entnahmestellen im Verbandsgebiet.“

Bei <https://www.rbb24.de/studiofrankfurt/wirtschaft/tesla/2023/01/tesla-gruenheide-krise-aktie-ausbau-batteriefabrik.html> (accessed 13.02.2023) erfährt man, dass... „Derzeit darf Tesla in Grünheide jährlich Batterien mit einem Gesamtvolumen von 50 Gigawattstunden Strom bauen. Mit der nun angepeilten Erweiterungen sollen es bis 150 Gigawattstunden werden. Elon Musk hatte ja in Grünheide die größte Batteriefabrik der Welt angekündigt. Immerhin dieses Versprechen könnte sein Unternehmen damit einlösen. Wobei auch die anderen E-Auto-Bauer inzwischen in riesige Batteriefabriken investieren.“

6. Was sind die „Ambitionen“ von Tesla in Relation zu der geplanten Lithiumaufbereitung in Guben? Die geplante Lithiumaufbereitung reicht nicht...

Eines steht fest, wie bei den meisten Firmen (also keine besondere Kritik an Tesla): die Firma will so viele Waren wie möglich in noch nicht saturierten Märkten verkaufen, und daher diese Waren immer zahlreicher herstellen.

Annahmen:

1. Die durchschnittliche Akkukapazität die bei Tesla Brandenburg hergestellt wird ist wahrscheinlich um die 75 kWh pro Akku (wir wissen, dass Tesla Autos generell Akkus von aufwärts von 50 kWh haben, einige sogar 100 kWh, um bessere Reichweite zu ermöglichen – siehe auch <https://ev-lectron.com/blogs/blog/how-much-electricity-does-it-take-to-charge-a-tesla> accessed 16.02.2023).
2. Die Herstellung der Li Ionen Akkus läuft unter Bedingungen und mit Substanzen ab, die denen ähnlich sind wie bei der folgenden Publikation https://www.mdpi.com/batteries/batteries-05-00048/article_deploy/html/images/batteries-05-00048-g002.png die ich früher benutzt habe, um die benötigte Wassermenge bei der Zellenfabrikation zu berechnen.

Ansicht A:

Derzeit kann Tesla 50 Gigawattstunden pro Jahr an Akkus bauen. Etwa 970 g – d.h. 0,97 kg – $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (WICHTIG: NICHT Lithium Metall!!) wird pro kWh Akkukapazität benötigt (Wert durch Berechnung anhand von Werten in verschiedenen Publikationen der vergangenen paar Jahre). 50 Gigawattstunden entsprechen 50.000.000 kWh, wozu 48.500.000 kg, oder **48.500 Tonnen $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ für die Zellmanufaktur benötigt werden. Also, will Tesla die mögliche Produktionskapazität ausschöpfen, bräuchte die Firma eigentlich wahrscheinlich etwa zweimal soviel $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ wie die geplante Aufbereitung in Guben pro Jahr herstellen soll.**

Ansicht B:

Bei hergestellter 75 kWh durchschnittlicher Akkukapazität, und wenn bis 2025 Tesla 500.000 Fahrzeuge pro Jahr herstellen will – siehe:

Wikipedia (https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla_Gigafactory_Berlin-Brandenburg accessed 13.02.2023) steht „Im Dezember 2022 wurden zum ersten Mal 3.000 **Autos** in einer Woche produziert. Im Jahr 2023 sollen 280.000 Fahrzeuge (knapp 5.400 Autos pro Woche) gebaut werden. Im Jahre 2025 sollen dann mit bis zu 12.000 Beschäftigten im Dreischichtbetrieb etwa 500.000 Fahrzeuge pro Jahr produziert werden (rund 9.600 pro Woche). "... .. dann werden diese Autos für ihre Akkus die folgende Menge $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ benötigen:

$500.000 \times 75 \times 0,97 \text{ kg}$ d.h. 36.375.000 kg oder **36.400 Tonnen $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ pro Jahr, sprich 50% mehr als die geplante Herstellungskapazität der Lithiumhydroxid-aufbereitung in Guben.**

Möge die Wahrheit irgendwo zwischen A und B liegen, würde Tesla in Grünheide trotzdem bis 2025 weitaus mehr Lithium benötigen, als das was geplant ist, aus dem Erzgebirge herauszuholen. Zu der Frage wie viel Lithium Tesla aktuell in Grünheide verbraucht sind keine (vertrauenswürdigen) Zahlen auffindbar.

Tesla ist keine Bergbaufirma, kein Chemiekonzern, und auch kein analytischer Chemiker. Die Zahlen die Tesla für den Wasserverbrauch durch die $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Herstellung präsentieren *würde* sind unter diesen Bedingungen zu genießen.

7. Wer will, dass die Akkuherstellung und die E-Auto Produktion in Brandenburg so expandiert? Tesla und die EU...

Gerade in der vergangenen Woche (13. – 17. Februar 2023) hat die Europäische Kommission erklärt, dass die Herstellung von Autos mit Verbrennungsmotor ab 2035 in der Europäischen Union verboten wird...

Tesla hat sich weltweit enorme Marktanteile gesichert. Dies ist für einen amerikanischen Autobauer ohne Präzedenz. Warum jetzt ausgerechnet Tesla? Und warum wird Tesla so großzügig aus Steuergeldern der amerikanischen Steuerzahler (und inzwischen auch der deutschen Steuerzahler) subventioniert? Die Antwort ist bedauerlich und zynisch zugleich: Tesla hat tatsächlich den Sprung in die E-Mobilität schneller als jedes andere Autounternehmen gemacht, und zwar mit einem Sportauto, das monströse Beschleunigungswerte (dafür aber winzige Reichweite) hatte, weil sie technologisch mit anderen weltweiten Autobauern sehr wohl konkurrieren kann: die amerikanischen Verbrennerbauer waren immer (und sind es noch) den Europäern unterlegen, weil ihr technisches Knowhow und ihre Herstellungsqualität bei weitem nicht so gut sind: dies führt zu Autos die im Durchschnitt weniger effizient und weniger langlebig sind als ihre Europäischen Pendanten. Der kulturelle Bruch von Verbrennern kommt den amerikanischen Politikern also sehr gelegen, denn sie kehrt das Spielfeld neu, und überlässt Tesla die besten Entwicklungschancen (Ford ist, sowohl in USA als in Europa, sehr hinter den ähnlich großen Autobauern was E-Mobilität angeht): amerikanischer Autobau (oder eher gesagt, „die Firma Tesla“) wird endlich groß auf der Weltbühne!

Wie diese Entwicklung noch stärker unterstützt wurde zeigt eine fast abgedroschene Geschichte – „Dieselgate“ (2015) – aber erzählt mit politischen Handlungen die wenige Leute so genau kennen: In den Jahren vor den Klagen gegen VW (und dann auch andere deutsche Autohersteller) haben amerikanische Wirtschaftsexperten und Politiker mit wachsender Sorge zusehen müssen wie deutsche Dieselfahrzeuge immer mehr vom heimischen Automarkt für sich einnahmen: spritsparende Motoren mit beeindruckender Zuverlässigkeit und Kraftentwicklung für verhältnismäßig wenig Hubraum. Qualität und Leistung, mit denen die amerikanischen Autobauer einfach nicht mithalten konnten: nicht einmal Amerikaner können einen Diesel-PKW amerikanischer Herstellung nennen... Um eine drohende Vernichtung des heimischen PKW Marktes zu verhindern musste etwas getan werden, also wurde die EPA (Environmental Protection Agency – zu Deutsch „Bundesumweltamt“) angesprochen: in Eiltempo wurden neue Abgasnormen für PKWs von der EPA herausgegeben: für Benziner kein Problem, für Diesel PKWs, selbst die hochmodernen von VW et al., aber eine Herausforderung die in kurzer Zeit so gut wie unmöglich war zu meistern. Um Fahrzeuge, die für den Export gedacht waren, aber plötzlich nicht mehr in den USA verkauft werden durften, wurde eine „nicht-innenmotorische“ Lösung gefunden: ein Stück Computercode bei der Motorsteuerung, die einen neuen Zustand erkannte sobald das Fahrzeug auf dem Prüfstand war, und die Kraftstoff-Luftmischung manipulierte, um künstlich gute Abgaswerte zu produzieren. Das Schummeln war ganz klar nicht zu verzeihen. Die Klagen die folgten führten aber wahrscheinlich zu einem noch größeren wirtschaftlichen Vorteil für die amerikanischen Autobauer – allen voran Tesla – als die Architekten der neuen EPA Abgasnormen je gedacht hätten: nicht nur hat man deutsche Dieselfahrzeuge in den Augen der ganzen Welt blamiert, sondern man hat den Weg freigemacht für eine einheimische Firma, die behauptet, eine für die Umwelt viel bessere Technologie zu vertreten... und die Augen der ganzen Welt – und nicht nur amerikanische Augen (!) – waren also zunehmend auf Tesla gerichtet...

8. Das Grundwasserproblem in Deutschland

Anfangsquelle: Reviewartikel in der National Geographic, wo dargestellt wird, wie viel Grundwasser Deutschland pro Jahr verliert, und wo in der globalen Rangordnung Deutschland i.S. Grundwasserschwund liegt: <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/03/hydrologen-warnen-deutschland-trocknet-aus>

In der Tat berichten unterschiedliche Wissenschaftler, dass Deutschland unter den am stärksten betroffenen Länder weltweit ist in puncto Grundwasserverlust (<https://www.agrarheute.com/management/betriebsfuehrung/deutschland-trocknet-20-jahren-einmal-bodensee-591637> accessed 20.02.2023).

Es wird geschätzt, dass Deutschland pro Jahr etwa 2,5 Gigatonnen an Grundwasser verliert (<https://www.lpb-bw.de/wasser> accessed 20.02.2023).

Ausgerechnet Berlin und Brandenburg haben ohnehin einen stark ansteigenden Wasserverbrauch (<https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2022/06/berliner-brandenburger-verbrauchen-immer-mehr-wasser-duerre-trockenheit-klimawandel.html> accessed 20.02.2023).

9. Anhang

I. Verfahrenskette der $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ Herstellung aus dem Erz *Spodumen*, und wo Wasser verbraucht wird

Das Lithium im Erzgebirge ist in der Form von sogenanntem „Spodumen“ Erz (Lithium-Aluminium-Siliziumoxid). **Oft wird Lithiumgehalt anhand einer Li_2O Äquivalenz ausgedrückt.**

Schritte der Aufbereitung von Lithiumhydroxid ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$):

1. Spodumenhaltiges Gestein wird abgebaut (trad. Stollen-Bergbau): Wasserverbrauch für Bohrkopf und, um Staubbildung zu minimieren: Nebenprodukt: kontaminiertes Wasser: ein Teil wird abgepumpt, ein Teil versickert in den Boden.
2. Gestein mit Spodumen wird in eine Anlage transportiert, wo die Brocken zerkleinert werden, und in ein grobkörniges Pulver zerdrückt. In weiteren wasserbenötigenden Schritten wird das Gestein in ein Pulver zermahlen.
3. 1. Wasserflotation, um hauptsächlich Mika, Feldspat und Quarz zu entfernen: Nebenprodukt: kontaminiertes Wasser.
4. 2. Wasserflotation, um hauptsächlich Eisenanteile zu entfernen: Nebenprodukt: kontaminiertes Wasser.
5. Rotationstrocknung (rotierende geheizte Tonne): Nebenprodukt: Kondenswasser.
6. Beförderung des reinen Spodumens (Lithium-Aluminium-Siliziumoxid) zum Abfüllen.
7. Meistbenutzte Methode: Hochtemperaturkalzinierung (Rösten des Spodumens, um Lithiumcarbonat herzustellen), gefolgt von Rösten mit Schwefelsäure bei 250 °C unter Druck (in Wasser): Nebenprodukt: kontaminiertes Wasser.
8. Oder, noch in der Entwicklung: alkalische Behandlung, um vorerst Lithiumsilikat herzustellen, das dann in $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (hydriertes Lithiumhydroxid) übergeht: Nebenprodukt: kontaminiertes Wasser

II. Daten und Berechnungen basierend auf einem wissenschaftlichen Artikel aus Dezember 2022

Table 3 aus Reviewartikel <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922004670> (2022)

A: Concentrated spodumene production unit process (per ton of concentrated spodumene)

Data Source	Ecoinvent v3.8	Kelly et al. (2021)	Nemaska Lithium	Keliber Oy	Unit
Geography	Australia	Australia	Canada	Finland	
INPUT					
Lithium in spodumene (%)					
(1)	1.86%	0.8%	0.7%	0.6%	
Ore	1.98E+00	4.50E+00	4.79E+00	3.94E+00	t
Energy					
Electricity	3.39E-02	1.25E+00	4.60E-01	2.78E-01	MWh
Heat	1.18E+02	N/A	2.47E+02	1.74E+03	MJ
Chemicals					
Sodium hydroxide	(2)	(2)	2.07E-03	1.94E-03	t
Sulfuric acid	(2)	(2)	3.37E-04	6.06E-04	t
Collector	(2)	(2)	1.31E-03	6.30E-03	t
Flocculant	(2)	(2)	4.64E-05	1.52E-04	t
Dispersant	(2)	1.50E-02 (3)	4.74E-04	N/A	t
Other chemicals	(2)	(2)	1.56E-03	2.97E-04 (2)	t
Water	4.17E-01	3.00E+00	5.88E+00	9.88E+00	m ³
OUTPUT					
Concentrated spodumene (Li %)	1 (2)	1 (2.3%)	1 (2.9%)	1 (2.4%)	t

B: Lithium hydroxide monohydrate production unit process (per ton of lithium hydroxide monohydrate)

Data source	Ecoinvent v3.8	Kelly et al. (2021)	Nemaska Lithium	Keliber Oy	Unit
Geography	China	China	Canada	Finland	Unit
INPUT					
Concentrated spodumene	1.35E+01	6.42E+00	5.81E+00	1.04E+01	t
Energy					
Electricity	6.62E+00	3.50E+00	1.22E+01	1.49E+00	MWh
Heat	9.22E+01	7.13E+01	4.25E+01	2.07E+01	GJ
Chemicals					
Sodium hydroxide	8.54E-01	1.18E+00	1.12E-01 (4)	1.12E-01	t
Sodium carbonate	3.51E+00	2.50E-02	1.58E+00 (4)	1.58E+00	t
Sulfuric acid	4.69E+00	1.52E+00	(2)	(2)	t
Hydrochloric acid	2.80E-01	(2)	7.20E-02 (4)	7.20E-02	t
Other	2.99E+00	6.00E-01	1.82E+00 (4)	1.82E+00	t
Water	7.69E+01	1.12E+01	(2)	7.49E+01	m ³
OUTPUT					
LiOH · H₂O	1	1	1	1	t

Für LiOH·H₂O Herstellung aus Spodumen Erz

Mengenangaben in Tonnen pro Tonne konzentriertes Spodumen

Produkt: Concentrated spodumene (Li%)	1 (2)	1 (2.3%)	1 (2.9%)	1 (2.4%)	t
--	-------	----------	----------	----------	---

Spricht eine Tonne konzentriertes Spodumen Erz, in dem die Lithium Konzentration zwischen 2,3 und 2,4% Masse beträgt. **Durchschnittswert = 2,53% Lithium pro Tonne**

Lithium in spodumene (%)					
(1)	1.86%	0.8%	0.7%	0.6%	
Ore	1.98E+00	4.50E+00	4.79E+00	3.94E+00	t
Chemicals					
Sodium hydroxide	k.A.	k.A.	2.07E-03	1.94E-03	t
Sulfuric acid	k.A.	k.A.	3.37E-04	6.06E-04	t

Sodium hydroxide = Natriumhydroxid = Natronlauge (NaOH)
 Sulfuric acid = Schwefelsäure = H₂SO₄

I. Natronlauge durchschnittlicher Bedarf: $1,97 \times 10^{-3} = 0.00197$ Tonnen pro Tonne Roherz

II. Schwefelsäure durchschnittlicher Bedarf: $4,72 \times 10^{-4} = 0.000472$ Tonnen pro Tonne Roherz

Um eine Tonne LiOH·H₂O aus dem konzentrierten Spodumen Erz herzustellen (siehe nächste Tabelle)...

Pro Tonne LiOH·H₂O

Concentrated spodumene	1.35E+01	6.42E+00	5.81E+00	1.04E+01	t
-------------------------------	----------	----------	----------	----------	---

Konzentriertes Spodumen Erz Bedarf, Durchschnitt: 9,03 Tonnen pro Tonne LiOH·H₂O die hergestellt wird.

Also müssen die Werte für Natronlauge und Schwefelsäure I. und II. oben mal 9,03 multipliziert werden, ergebend:

Natronlauge: 0,0178 t

Schwefelsäure: 0,00262 t

Sodium hydroxide	8.54E-01	1.18E+00	1.12E-01 (4)	1.12E-01	t
* Sodium carbonate	3.51E+00	2.50E-02	1.58E+00 (4)	1.58E+00	t
Sulfuric acid	4.69E+00	1.52E+00	(2)	(2)	t
Hydrochloric acid	2.80E-01	(2)	7.20E-02 (4)	7.20E-02	t

Sodium carbonate = Natriumcarbonat = Na₂CO₃

III. Natronlauge: durchschnittlicher Bedarf: 0,565 Tonnen pro Tonne LiOH·H₂O

IV. Schwefelsäure: durchschnittlicher Bedarf: 3,1 Tonnen pro Tonne LiOH·H₂O

Addiert man die Werte von Natronlauge und Schwefelsäure vom obigen Schritt zu den Mengen die gebraucht werden, um aus dem konzentrierten Spodumen Erz 1 Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ herzustellen, hat man, insgesamt:

0,583 Tonnen Natronlauge pro hergestellte Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$

3,103 Tonnen Schwefelsäure pro hergestellte Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$

***1,673 Tonnen Natriumcarbonat pro hergestellte Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$**

Natronlauge (Natriumhydroxid)

10.000.000 mg pro kg NaOH (siehe z.B.

http://www.inference.org.uk/sustainable/LCA/elcd/external_docs/naoh_31116f0a-fabd-11da-974d-0800200c9a66.pdf accessed 20.02.2023) = 10 kg / kg, = **10 Tonnen pro Tonne NaOH.**

Multipliziert mal 0,583 Tonnen NaOH = **5,83 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ für Natronlaugebedarf.**

Schwefelsäure

Eine typische H_2SO_4 (Schwefelsäure) Herstellungsanlage, mit einer Produktionsmenge von 2.000 Tonnen H_2SO_4 pro Tag, „verliert“ etwa 200 Tonnen H_2O pro stunde = 4.800 Tonnen pro Tag. Dies entspricht **2,4 Tonnen Wasser pro Tonne H_2SO_4 .** (siehe z.B.

<https://www.saimm.co.za/Conferences/BM2013/099-Roux.pdf> 2013 accessed 20.02.2023)

Multipliziert mal 3,103 Tonnen H_2SO_4 = **7,45 Tonnen Wasser pro Tonne $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ für Schwefelsäurebedarf.**

Natriumcarbonat

Schwer zu errechnen: nicht ausschlaggebend.

Salzsäure (HCl)

Schwer zu errechnen, und nicht ausschlaggebend, weil als Nebenprodukt anderer chemischen Vorgängen in der Chemieindustrie.

– ENDE –