



DATA	FINANCING	NEWS & VIEWS	ASSET ALLOCATION
EVs and Batteries: The Year in Review	Better start to the year in 2022	Tesla won't launch any new models soon	Stick with lithium but focus on explorers
5	15	18	23

## Identifizierung der Nadelöhre in der LFP-Lieferkette

Das Ausmaß des Wachstums bei der Verwendung von LFP-Batterien im Jahr 2021 hat viele in der Branche überrascht.

Aber sicherlich sind LFP-Batterien jetzt als eine der wichtigsten Batteriechemien für den Massenmarkt,

akzeptiert. Trotzdem gehen die meisten Leute, wenn man sie nach der Lieferkette fragt, davon aus, dass es keine Probleme geben wird, weil die Rohstoffe für LFP auf Eisen und Phosphat basieren, zwei sehr gängigen Materialien.

Da die meisten Branchenteilnehmer jedoch auch davon ausgingen, dass

dass es mit anderen Batterierohstoffen keine Probleme geben würde, hielten wir es für angebracht, die Lieferkette genauer unter die Lupe zu nehmen.

Und - welch ein Schock - ein genauere Blick auf die LFP-Lieferkette zeigt uns, dass es sehr wohl zu Problemen in der Rohstofflieferkette für LFP kommen könnte.

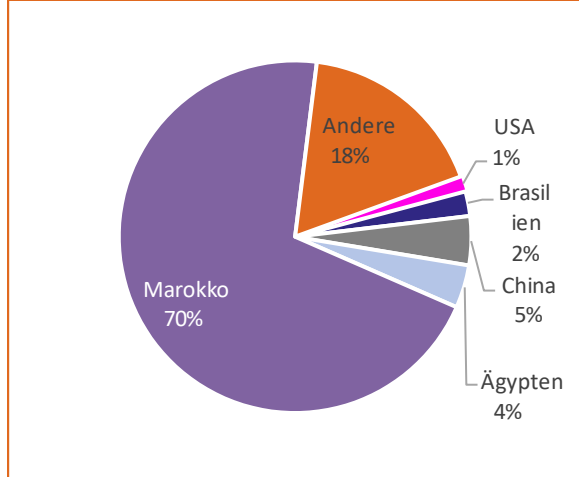
*Fortsetzung umseitig*

## Fokus...Nadelöhre in der LFP Lieferkette...

### Wie wird LFP hergestellt?

Bevor wir über die Nadelöhre Pinch Points sprechen, sollten wir uns zunächst über die LFP-Lieferkette klar werden. Sie ist eigentlich ziemlich lang und es gibt eine Reihe von beweglichen Teilen.

Weltweite Phosphatgesteinreserven nach Ländern



Source: USGS

Der Ausgangspunkt ist Phosphaterz, das dann zu Phosphorsäure verarbeitet wird. Wie bei vielen Mineralien, die mit der Nachfrage nach Batterien in Verbindung gebracht werden, scheint es auf den ersten Blick keinen Mangel an Phosphatreserven in der Welt zu geben, denn es sind ca. 71 Mrd. Tonnen bekannt (Quelle: USGS). Man kann jedoch mit Fug und Recht behaupten, dass ein Großteil davon nicht für die Herstellung von Phosphorsäure (p-Säure) geeignet ist.

Es gibt zwei Verfahren, mit denen Phosphat zu p-Säure verarbeitet werden kann: das Nassverfahren oder das pyrogene (Turner) Verfahren. Um für das Nassverfahren geeignet zu sein, muss ein Erz (oder Konzentrat) einen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt von mehr als 30 %, ein CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verhältnis von weniger als 1,6 (Kalzium in Form von Kalziumkarbonat verbraucht während des Raffinationsprozesses Säure) und einen MgO-Gehalt von weniger als 1 % aufweisen (MgO erhöht die Viskosität der Säure während des Raffinationsprozesses, was zu geringen Ausbeuten führt).

Man kann mit Fug und Recht behaupten, dass es auf der Welt immer weniger,

geeignetes Erz gibt und ein Großteil des Erzes muss nun aufbereitet werden, um die erforderlichen Spezifikationen zu erreichen. Das Turner-Verfahren erfordert keine so hochgradigen Erze, aber es ist mit einigen ganz erheblichen Problemen verbunden.

Die Unterschiede bei den Methoden zur Herstellung von Phosphorsäure sind beträchtlich. Das Turner-Verfahren wird in China in großem Umfang eingesetzt und ist ein energie- und abfallintensives Verfahren. Das Wet-Verfahren war in der Vergangenheit teurer, wird aber in der westlichen Welt häufiger eingesetzt, da es ein wesentlich umweltfreundlicheres Verfahren ist.

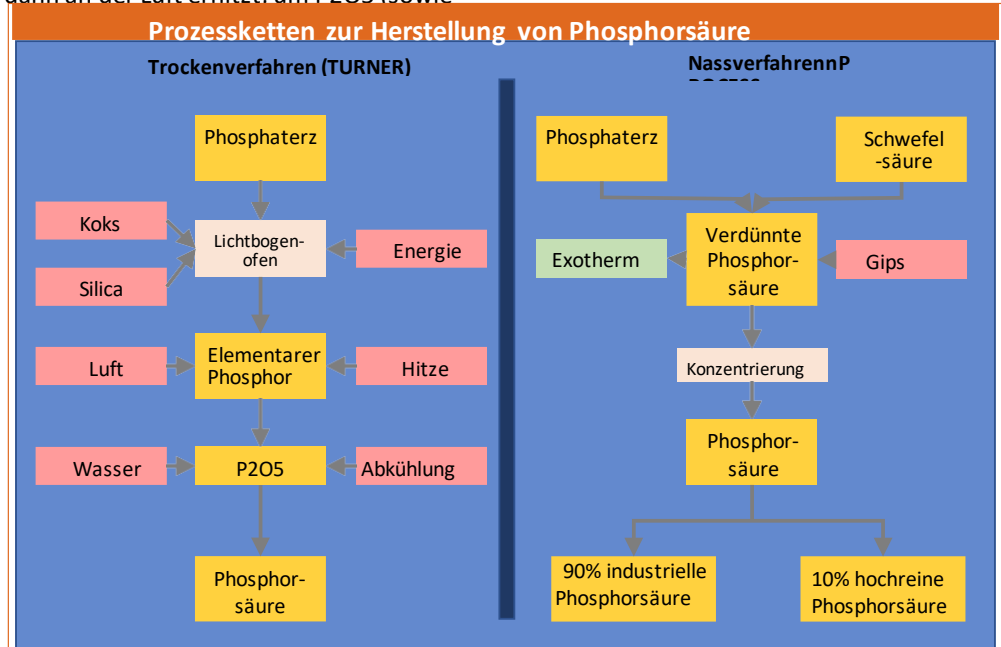
### Pyrogene vs. nasse Produktion von Phosphorsäure

Beim (pyrogenen) Turner-Verfahren wird Phosphaterz zusammen mit Koks und Siliziumdioxid in einen elektrischen Lichtbogenofen gegeben und bei hoher Temperatur erhitzt. Dies ist ein energieintensiver Prozess, bei dem elementarer (gelber) Phosphor und große Mengen an Schlacke (Abfallmaterial) anfallen. Der elementare Phosphor wird dann an der Luft erhitzt, um P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (sowie

Kohlenmonoxid und große Mengen Staub) zu bilden, das dann zu Wasser hinzugefügt und abgekühlt wird, um Phosphorsäure herzustellen.

Es handelt sich dabei um ein schmutziges Verfahren, das energieintensiv ist und große Mengen an Abfällen erzeugt. Es ist nach wie vor die wichtigste Methode zur Herstellung von Phosphorsäure in China, obwohl einige modernere Anlagen jetzt das Nassverfahren anwenden. Es ist davon auszugehen, dass dieses Verfahren zur Herstellung von p-Säure für OEMs unter ESG-Gesichtspunkten nicht akzeptabel sein wird.

Beim Nassverfahren wird das Phosphaterz mit Schwefelsäure versetzt. Dabei handelt es sich um einen exothermen Prozess (d. h. es entsteht Wärme, die dann für andere industrielle Prozesse genutzt werden kann). Das andere Nebenprodukt ist das Baumaterial Gips. Bei dieser Reaktion entsteht eine verdünnte Form der p-Säure, die dann weiter konzentriert werden muss. Das Problem bei diesem Verfahren ist, dass es eine viel geringere Menge an gereinigter Phosphorsäure ergibt (ca. 10 % gegenüber 100 % beim Turner-Verfahren). Es ist jedoch wesentlich sauberer und erzeugt wiederverwendbare Wärme und Gips.



Source: BM Review

## Fokus...Nadelöhre in der LFP Lieferkette...

Die erzeugte p-Säure, die nicht für die LFP-Herstellung geeignet ist, kann zur Herstellung von Düngemitteln oder für andere industrielle Anwendungen verwendet werden.

Die in beiden Verfahren hergestellte p-Säure liegt in wässriger Form vor und ist teuer zu transportieren, weshalb die meisten LFP-Herstellungsanlagen in der Nähe von Säureanlagen angesiedelt sind, um die Transportkosten zu senken.

### Herstellung von Lithiumeisenphosphat

In einem nächsten Schritt wird die p-Säure mit Eisensulfat kombiniert. Im Westen ist Eisensulfat in der Regel ein Nebenprodukt der Stahlproduktion (es entsteht beim Reinigungsprozess von Stahl, wenn Schwefelsäure zur Reinigung der Stahloberfläche verwendet wird). In China ist es im Allgemeinen ein Nebenprodukt bei der Verhüttung von Ilmenit zur Bildung von  $TiO_2$ .

Das Eisensulfat wird mit der Phosphorsäure kombiniert, um Eisen-

phosphat zu bilden, das wiederum mit Lithiumcarbonat (oder -hydroxid) in einem Lichtbogenofen umgesetzt wird, um Lithiumeisenphosphat herzustellen. Da ein Lichtbogenofen verwendet wird, ist der LFP-Produktionsprozess relativ stromintensiv, und es ist wahrscheinlich, dass die Energie zunehmend aus sauberen Quellen stammen muss, um die ESG-Anforderungen der Automobilindustrie zu erfüllen.

Alternativ könnte auch die bei der Herstellung von nasser Phosphorsäure anfallende Wärme für den Prozess genutzt werden.

Es gibt ein Flüssigphasenverfahren zur Herstellung von LFP, das weniger energieintensiv ist, aber nicht so gut skalierbar ist und eine andere Reihe von Rohstoffen erfordert, darunter Eisennitrat und Ammoniumphosphat.

Das aus diesem Prozess entstandene

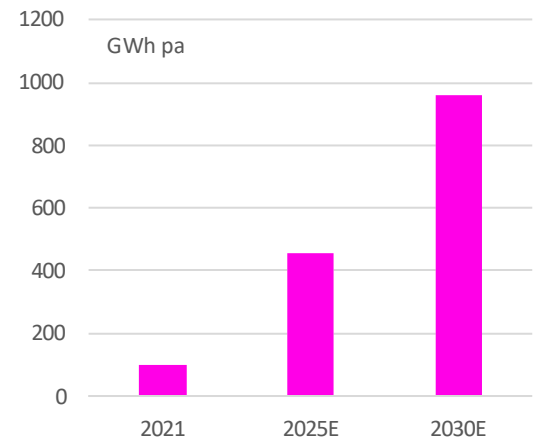
LFP eignet sich dann für die Herstellung von Kathoden.

Die Herstellung von Kathode und

von den bisher günstigen und reichlich vorhandenen Rohstoffen, der schlechten Umweltpolitik und der Möglichkeit, kostenlos Eisensulfat zu beziehen.

Aber dieser Rohstoffreichtum basiert auf einer LFP-Zellenproduktion von vielleicht 80-100 GWh pro Jahr, und diese Zahl wird enorm ansteigen,

### Wachstum der LFP-Zellennachfrage



Source: *BM Review Schätzungen*

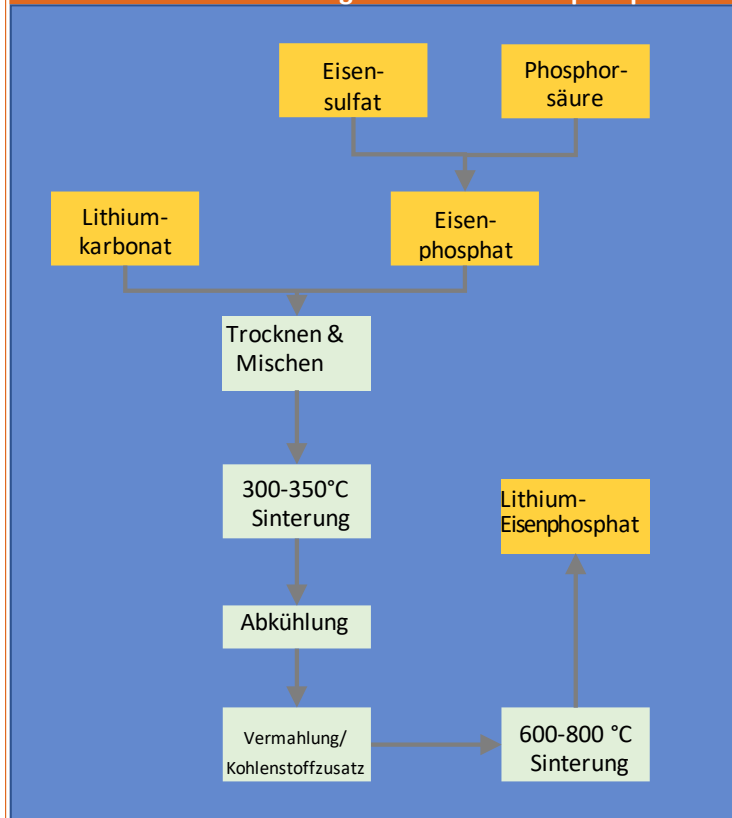
und zusätzlich werden auch außerhalb Chinas Produktionskapazitäten

für LFP-Zellen und Lieferketten benötigt.

Angesichts der Tatsache, dass ESG bei den Automobilherstellern an erster Stelle steht, scheint es unwahrscheinlich, dass das Turner-Verfahren weiterhin die p-Säure-Produktion dominieren kann. Es hat mehrere Nachteile: Es ist energie- (d.h. kohlenstoff-) intensiv, verursacht Luftverschmutzung und erzeugt eine Menge schädlicher Abfallstoffe. Realistischerweise erwarten wir, dass westliche OEMs in Zukunft auf dem Wet-Verfahren bestehen werden. Dafür ist jedoch etwa 10-mal mehr Phosphatgestein erforderlich, um die gleiche Menge gereinigter Phosphorsäure herzustellen, und es wird höherwertiges Phosphatgestein benötigt.

Unsere Berechnungen deuten darauf hin, dass für eine 20-GWh-Batterieanlage ca. 2 Mio. tpa Phosphatgestein oder -konzentrat (bei 30 %  $P_2O_5$ ) für das Nassverfahren gegenüber ca. 300 ktpa Gestein oder Konzentrat (bei 20%  $P_2O_5$ ) für die

### Prozesskette zur Herstellung von Lithiumeisenphosphat



Quelle: *BM Review*

batterymaterialsreview.com

Zelle liegt außerhalb des Rahmens dieser Studie, daher beschränken wir uns hier auf das Produkt Lithiumeisenphosphat, das fest ist und daher leicht zu einer LFP-Kathodenanlage transportiert werden kann

### Regionale und prozessuale Trends

Bislang werden über 95 % der LFP-Zellen in China hergestellt, und China dominiert auch die vorgelagerte Lieferkette. China profitiert

## Fokus...Nadelöhre in der LFP Lieferkette...

gleiche Anzahl von Zellen nach dem Turner-Verfahren benötigt würden. Auf der Grundlage unserer aktuellen Prognosen würden wir eine Nachfrage nach LFP-Batterien von ca. 500 GWh im Jahr 2025E und 960 GWh im Jahr 2030E erwarten. Selbst wenn man davon ausgeht, dass bis 2025E eine gewisse Restproduktion nach dem Turner-Verfahren verbleibt, würde dies immer noch mehr als 50 Mio. Tonnen pro Jahr an 30%igem P2O5-Konzentrat bedeuten und bis 2030E fast das Doppelte. Das ist eine Menge Phosphat!

Auch außerhalb Chinas werden große Investitionen in die Produktionskette erforderlich sein, wenn LFP sich durchzusetzen beginnt. LFP-Kathoden können zwar verschifft werden, aber zum Schutz der regionalen Lieferketten ist es viel sinnvoller, Produktionskapazitäten in der Nähe der Regionen aufzubauen, in denen die Zellen benötigt werden.

Während Nordamerika bereits über eine beträchtliche Phosphat- und Phosphorsäureproduktion verfügt (auch wenn weitere Reserven erschlossen werden müssten), sind die verfügbaren Kapazitäten in Europa gering. Nordafrika (insbesondere Ägypten und Marokko, das nach China der zweitgrößte Phosphatgesteinsproduzent der Welt ist) könnte potenziell eine tragfähige Quelle für die europäische LFP-Lieferkette sein.

### Identifizierung der Nadelöhre

Aktuell ist unsere Analyse der LFP-Lieferkette noch nicht weit genug fortgeschritten, um die Nachfrage (und damit die Engpässe) auf den verschiedenen Ebenen der Kette zu quantifizieren, aber im Folgenden führen wir die Bereiche auf, in denen wir mögliche Probleme sehen:

**Phosphatgestein:** Auch wenn die meisten Branchenteilnehmer nicht glauben, dass Phosphatgestein ein Nadelöhr in der LFP-Produktionskette sein könnte, wird der P2O5-Gehalt im Gestein an Bedeutung gewinnen, da das Turner-

Verfahren, zur Herstellung von Phosphorsäure wahrscheinlich der Vergangenheit angehört. Hochwertiges Material ist wesentlich knapper als minderwertiges Material, das aufbereitet werden müsste. Darüber hinaus ist Material mit hohem Kalzium- und Magnesiumgehalt (unabhängig davon, ob es sich aufbereiten lässt oder nicht) für dieses Verfahren ungeeignet. Wir sehen Phosphatgestein zwar nicht als unmittelbaren Engpass, aber er könnte in den nächsten drei bis vier Jahren zu einem solchen werden, wenn die Nachfrage in China und anderswo steigt.

**Schwefelsäure:** Während Schwefelsäure in den meisten Industrieländern leicht zu beschaffen ist, ist die Beschaffung in Regionen mit knapper Transportinfrastruktur erheblich schwieriger, es sei denn, es handelt sich um Regionen, in denen große Mengen Schwefel produziert werden.

Wegen der Transportkosten und des geringen Wertes von Phosphatgestein werden Phosphorsäureanlagen in der Regel in der Nähe von Zentren der Gesteinsproduktion angesiedelt, die sich oft nicht in der Nähe von Säure- und/oder Schwefelquellen befinden. Zwar gibt es keinen weltweiten Mangel an Schwefelsäure, doch kann es lokale Engpässe geben. Tatsächlich ist China ein Nettoimporteur von Schwefel zur Verwendung in Schwefelsäure. Weitere Kapazitätserweiterungen für p-Säure im Nassverfahren können dieses Problem nur verschärfen.

**Hochreine Phosphorsäure:** Angesichts der zunehmenden Konzentration (aufgrund strengerer ESG-Prioritäten) auf die Produktion von Phosphorsäure im Nassverfahren ist es möglich, dass hochreine Phosphorsäure einen Engpass darstellen könnte. Da nur 10 % der im Nassverfahren hergestellten

p-Säure wirtschaftlich für die LFP-Produktion verwendet werden können, müssen die Säureanlagen aufgestockt werden, um genügend Material zu produzieren. Dies könnte zu einer Überproduktion von p-Säure für andere Anwendungen wie Düngemittel führen.

**Eisensulfat:** Meines Erachtens hat dies das Potenzial, selbst in naher Zukunft ein großer Engpass zu sein. Außerhalb Chinas wird Eisensulfat wahrscheinlich aus dem Polieren von Stahl gewonnen. Für die Versorgung der LFP-Herstellung müssen die Späne aus diesem Prozess weiter gereinigt werden, was mit Kosten verbunden ist (sowohl Kapital- als auch Betriebskosten). In China wurde das Eisensulfat bisher kostenlos von der TiO<sub>2</sub>-Schmelzindustrie bezogen.

Bei den künftig erforderlichen Mengen wird dies wahrscheinlich nicht möglich sein, und es könnte sogar sein, dass nicht genügend hochwertiges Material zur Verfügung steht. Es ist wahrscheinlich, dass (1) die Beschaffung von Eisensulfat nun eine Kostenkomponente hat und (2) ein Teil des Eisensulfats weiterverarbeitet werden muss, um die richtige Spezifikation zu erreichen.

Dies wird wirtschaftliche Auswirkungen auf die Produktion von LFP in China haben. Investitionen in Produktionskapazitäten für Eisensulfat außerhalb Chinas waren bisher nicht möglich, weil es in China kostenlos ist.

Das muss sich in Zukunft ändern, wenn Europa und die USA tragfähige LFP-Lieferketten entwickeln wollen.

*Vielen Dank an Yves Caprara, der wesentlich zu diesem Artikel beigetragen hat*

#### Eine 20-GWh-LFP-Zellenfabrik verbraucht in einem Jahr Folgendes:

2,1 Mt 30% P2O5 Phosphatgestein (Nassverfahren)  
1,9 Mt Schwefelsäure (Nassverfahren)  
13 Kt Lithiumkarbonat

Source: BM Review Schätzungen