

EINFÜHRUNG IN DIE LITHIUM-EISENPHOSPHAT- BATTERIETECHNOLOGIE



WHITEPAPER

INHALT

1. Geschichte der Lithium-Eisenphosphat-Batterie	3
2. Merkmale und Funktionsweise der Lithium-Eisenphosphat-Technologie	4
3. Vergleich mit Blei-Säure-Batterien: Unterschiede und Vorteile	5
4. Hinweise für den sicheren Betrieb von Lithium-Eisenphosphat-Batterien	7
5. Anwendungen	8
6. Batterietechnologie bei Jauch	9
Quellen.....	10

1. GESCHICHTE DER LITHIUM-EISENPHOSPHAT-BATTERIE

Die Lithium-Eisenphosphat-Batterie (LiFePO_4) hat sich über die letzten Jahrzehnte zu einer wichtigen Technologie in der stationären und mobilen Energiespeicherung entwickelt. Ihre Grundlagen reichen zurück bis ins 19. Jahrhundert: Bereits 1834 entdeckte der deutsche Mineraloge Johann Nepomuk von Fuchs das Mineral Triphylit, das Lithium, Eisen und Phosphat enthält.



Abbildung: Triphylit

Quelle: mineralienatlas.de

Die gezielte Nutzung dieser Verbindung als Kathodenmaterial begann jedoch erst deutlich später. In den Jahren 1996 bis 1997 gelang es Forschern am Goodenough-Institut in Texas, Lithium-Eisenphosphat synthetisch herzustellen und auf seine elektrochemischen Eigenschaften zu untersuchen. Die darauf basierenden Arbeiten von John B. Goodenough und Michel Armand bildeten den Ausgangspunkt für die spätere industrielle Anwendung. Für seine bahnbrechenden Beiträge zur Entwicklung moderner Lithium-Ionen-Akkus wurde John B. Goodenough im Jahr 2019 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

Anfangs war die geringe elektrische Leitfähigkeit von LiFePO_4 ein limitierender Faktor für die Leistungsfähigkeit der Batterie. Durch gezielte Weiterentwicklungen, unter anderem durch Kohlenstoffbeschichtung, Dotierung und den Einsatz von Nanopartikeln, konnte die Effizienz deutlich gesteigert werden. Diese Optimierungsmaßnahmen führten dazu, dass Lithium-Eisenphosphat als Kathodenmaterial auch kommerziell wettbewerbsfähig wurde.

In den frühen 2000er Jahren begannen Unternehmen wie A123 Systems und Phostech Lithium mit der Industrialisierung dieser Technologie. Phostech wurde 2005 von der Süd-Chemie übernommen, die später in die Clariant-Gruppe eingegliedert wurde. Diese Akteure trugen maßgeblich zur Verbreitung und Standardisierung von LiFePO_4 in industriellen Anwendungen bei.

Im Kontext der Energiewende spielt die Lithium-Eisenphosphat-Batterietechnologie aufgrund ihrer Zelleigenschaften eine zunehmend wichtige Rolle.

2. MERKMALE UND FUNKTIONSWEISE DER LITHIUM-EISENPHOSPHAT-TECHNOLOGIE

Lithium-Eisenphosphat-Batterien zeichnen sich durch eine Reihe technischer Eigenschaften aus, die sie für verschiedene Einsatzbereiche prädestinieren:

Hohe thermische und chemische Stabilität

Ein zentrales Merkmal ist die hohe thermische und chemische Stabilität, welche eine besonders sichere Nutzung auch unter anspruchsvollen Bedingungen ermöglicht. Die hohe thermische Stabilität bedeutet, dass das Material auch bei hohen Temperaturen strukturell stabil bleibt, während die chemische Stabilität sichergestellt, dass es nicht mit anderen Substanzen reagiert oder sich zersetzt – selbst bei längerem Einsatz unter anspruchsvollen Umweltbedingungen.

Anders als bei Lithium-Cobaltoxid- oder Blei-Säure-Systemen besteht bei LiFePO_4 nur ein geringes Risiko des „thermal runaway“, des sogenannten „thermischen Durchgehensprozesses“. „Thermal runaway“ bedeutet, dass sich eine Batterie durch eine unkontrollierte Kettenreaktion selbst weiter aufheizt. Dabei steigt die Temperatur so stark an, dass es zu einem technischen Ausfall der Zelle kommen kann – mit Folgen wie Gasbildung, Feuer oder sogar Explosion. Dieser Prozess wird meist durch Überladung, äußere Hitze oder mechanische Beschädigung ausgelöst und ist besonders gefährlich bei Batterien mit instabiler Zellchemie. Lithium-Eisenphosphat-Zellen gelten als sehr sicher, da sie ein geringes Risiko für solche Prozesse aufweisen: Ihre kristalline Struktur ist besonders stabil und Sauerstoff wird nicht so leicht freigesetzt wie bei anderen Kathodenmaterialien.

Lange Lebensdauer

Ein weiterer Vorteil liegt in der langen Lebensdauer: LiFePO_4 -Zellen erreichen typischerweise mehr als 2.000 Ladezyklen und können bei geeigneter Anwendung über zehn Jahre in Betrieb bleiben. Durch die niedrige Selbstentladung und hohe Lade-/ Entladeeffizienz arbeiten die Batterien auch bei niedrigem Ladezustand stabil und zuverlässig.

Umweltfreundlich

Durch den Verzicht auf kritische oder besonders schadstoffreiche Materialien ist die Technologie deutlich umweltfreundlicher als klassische Systeme. Es kommen keine toxischen Schwermetalle wie Blei oder Cadmium zum Einsatz, was die Recyclingfähigkeit verbessert und die Entsorgung vereinfacht.

Hohe Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit der LiFePO_4 -Zellen zeigt sich insbesondere in der konstanten Spannungslage während der Entladung, der Fähigkeit zur Verarbeitung hoher Lade- und Entladeströme sowie in der langen Lebensdauer – selbst bei häufigen Ladezyklen und wechselnden Umgebungsbedingungen. Diese Eigenschaften tragen dazu bei, dass die Energieabgabe über den gesamten Betriebszeitraum stabil bleibt und Leistungseinbußen minimiert werden. Zudem ermöglicht die robuste Zellchemie wie oben bereits erläutert eine hohe Belastbarkeit bei gleichzeitig geringer Wärmeentwicklung, was die Effizienz und Sicherheit im Betrieb zusätzlich erhöht.

3. VERGLEICH MIT BLEI-SÄURE-BATTERIEN: UNTERSCHIEDE UND VORTEILE

Im direkten Vergleich mit klassischen Blei-Säure-Batterien zeigen sich die Vorteile von LiFePO_4 deutlich in mehreren Aspekten:

KRITERIUM	LIFEPO ₄	BLEI-SÄURE
LEBENSDAUER	Bis zu 10 Jahre	Etwa 3 Jahre
ZYKLENFESTIGKEIT	> 2.000 Ladezyklen	200 - 550 Ladezyklen
GEWICHT	Leicht (etwa 1/3 des Gewichts)	Schwerer (ca. 3x so schwer)
LADEZEIT	Schnell (< 1 Stunde)	Langsam (mehrere Stunden)
WARTUNG	Wartungsfrei	Wartungsbedürftig
MATERIALIEN	Keine toxischen Stoffe	Enthält Blei und Schwefelsäure
RECYCLING	Gut recycelbar	Komplexere Entsorgung

Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit

LiFePO_4 -Batterien gelten als besonders sicher im Umgang: Ihre Zellchemie weist eine hohe thermische Stabilität auf, was das Risiko von Überhitzung, Gasbildung oder Brand deutlich reduziert. Blei-Säure-Batterien hingegen sind empfindlich gegenüber Tiefentladung, benötigen eine regelmäßige Wartung (z.B. Nachfüllen von Wasser bei Nasszellen) und können bei unsachgemäßer Handhabung gefährliche Gase wie Wasserstoff freisetzen.

Ladeverhalten und Energieeffizienz

Lithium-Eisenphosphat-Systeme ermöglichen eine nahezu vollständige Entladung ohne signifikante Leistungsabfälle, während Blei-Säure-Batterien nur etwa 50 – 60 % ihrer Kapazität nutzen können, bevor die Spannung stark abfällt. Zudem arbeiten LiFePO_4 -Zellen mit einem höheren Wirkungsgrad beim Laden und Entladen – meist über 95 % – was den Energieverbrauch senkt und die Betriebszeiten verlängert.

LITHIUM-EISENPHOSPHAT-BATTERIETECHNOLOGIE

Vergleich der Lebenszyklen von Lithium-Eisenphosphat- und Blei-Säure-Batterien

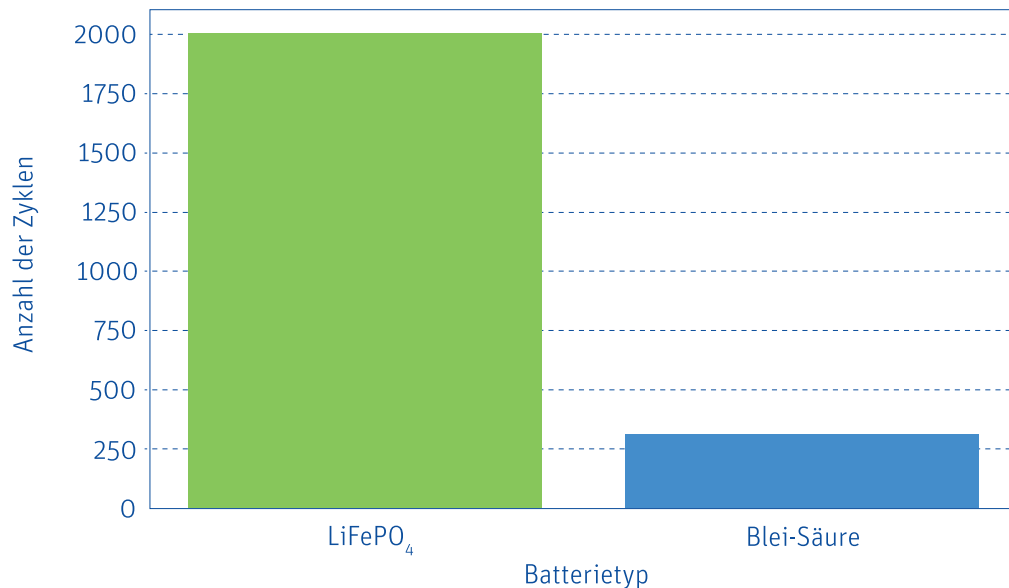


Abbildung: Lithium-Eisenphosphat-Batterien erreichen etwa 2.000 Zyklen, während Blei-Säure-Batterien im Schnitt nur 300 Zyklen durchlaufen - ein deutlicher Unterschied in der Langlebigkeit.

Durch die hohe Lade-/ Entladeeffizienz lassen sich LiFePO₄-Batterien bis zu 60 % schneller aufladen, was insbesondere in mobilen Anwendungen wie Elektromobilität oder netzunabhängigen Speichern von Vorteil ist. Ihre kompakte Bauform und lange Einsatzfähigkeit reduzieren langfristig die Betriebskosten und machen sie zu einer wirtschaftlich sinnvollen Alternative.

Anwendungskomfort und Integration

Durch ihr geringes Gewicht und die kompakte Bauweise lassen sich LiFePO₄-Batterien einfacher installieren und transportieren. Sie benötigen keine Belüftung, sind wartungsfrei und ermöglichen die Integration in moderne Energiemanagementsysteme – etwa über CAN-Bus- oder Bluetooth-Schnittstellen. Blei-Säure-Batterien hingegen sind schwer, voluminös und mechanisch empfindlicher gegenüber Erschütterungen und Temperaturwechseln.

Gesamtkostenbetrachtung (Total Cost of Ownership)

Obwohl die Anschaffungskosten einer LiFePO₄-Batterie höher sind als bei einer Blei-Säure-Variante, amortisiert sich diese Investition über die Lebensdauer durch:

- Geringere Wartungs- und Betriebskosten
- Längere Lebensdauer und höhere Zyklenzahl
- Einsparungen durch höhere Effizienz und kürzere Ladezeiten

4. HINWEISE FÜR DEN SICHEREN BETRIEB VON LITHIUM-EISENPHOSPHAT-BATTERIEN

Lithium-Eisenphosphat-Batterien gelten als besonders sicher im täglichen Betrieb – vorausgesetzt, sie werden sachgerecht eingesetzt. Ihre Zellchemie zeichnet sich durch eine hohe thermische Stabilität aus, wodurch das Risiko von Überhitzung, Gasbildung oder Brand im Vergleich zu anderen Lithium-Technologien deutlich reduziert wird. Dennoch sind einige grundlegende Sicherheitsaspekte zu beachten, um die Betriebssicherheit dauerhaft zu gewährleisten:

Einhaltung der Lade- und Entladeströme

Ein zentraler Punkt ist die Einhaltung der empfohlenen Lade- und Entladeströme. LiFePO_4 -Zellen vertragen zwar hohe Ladeleistungen, jedoch sollte stets ein auf die Zellchemie abgestimmtes Batteriemanagementsystem (BMS) verwendet werden. Dieses überwacht Spannung, Temperatur und Stromfluss und schützt die Batterie vor Tiefentladung, Überladung oder Kurzschluss.

Robuste Bauweise

Die mechanische Integrität der Batterieeinheit ist ebenfalls entscheidend. Stöße, Vibrationen oder unsachgemäße Montage können zu Zellschäden führen, die sich negativ auf die Lebensdauer und Sicherheit auswirken. Daher sollten LiFePO_4 -Batterien stets in geeigneten Gehäusen verbaut und gegen äußere Einflüsse geschützt werden.

Einhaltung des Temperaturbereichs

Auch die Umgebungstemperatur spielt eine wichtige Rolle: Der Betrieb sollte idealerweise im Bereich von 0 °C bis +45 °C erfolgen. Bei extremen Temperaturen – insbesondere unter dem Gefrierpunkt – kann die Ladefähigkeit eingeschränkt sein. Für Anwendungen in anspruchsvollen Umgebungen sind daher spezielle Zellvarianten mit erweitertem Temperaturbereich zu wählen.

Fachgerechte Entsorgung

Abschließend ist auf eine fachgerechte Entsorgung zu achten. Obwohl LiFePO_4 -Batterien keine giftigen Schwermetalle enthalten, unterliegen sie dennoch den gesetzlichen Vorgaben zur Rücknahme und Verwertung. Eine Rückführung über zertifizierte Sammelstellen ist daher verpflichtend.

Durch die Beachtung der genannten Sicherheitsaspekte lässt sich das volle Potenzial der LiFePO_4 -Technologie sicher und nachhaltig ausschöpfen.

5. ANWENDUNGEN

Lithium-Eisenphosphat-Batterien haben sich in den letzten Jahren als besonders geeignet für zahlreiche anspruchsvolle Anwendungen erwiesen:

Stationäre Energiespeicher

Im Bereich der stationären Energiespeicherung kommen LiFePO_4 -Zellen in privaten und industriellen Speichersystemen zum Einsatz – etwa zur Zwischenspeicherung von Solarstrom oder zur Netzstabilisierung. Ihre hohe Zyklenfestigkeit und die Fähigkeit, über Jahre hinweg zuverlässig zu arbeiten, machen sie zu einer gefragten Batterie für diese Anwendungen.

Medizintechnik

In der Medizintechnik werden Lithium-Eisenphosphat-Zellen vor allem in mobilen Diagnose- und Therapiegeräten eingesetzt, bei denen eine zuverlässige Energieversorgung lebenswichtig ist. Dank ihrer geringen Selbstentladung und hohen Zellstabilität gewährleisten sie auch bei längeren Standzeiten einen sicheren Betrieb. Darüber hinaus bieten sie durch ihre thermische und chemische Stabilität ein besonders hohes Maß an Sicherheit – ein entscheidender Vorteil in sensiblen medizinischen Anwendungen, in denen Ausfälle oder Überhitzung gravierende Folgen haben könnten.

Elektromobilität

Auch in der Elektromobilität gewinnen LiFePO_4 -Batterien zunehmend an Bedeutung – insbesondere bei E-Bussen, leichten Nutzfahrzeugen und E-Gabelstaplern. Hier überzeugen sie durch ihre Robustheit, kurze Ladezeiten und hohe Sicherheit, selbst unter rauen Betriebsbedingungen.

Industrie- und Notstromversorgung

Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LiFePO_4) werden in industriellen Anwendungen wie USV-Systemen (unterbrechungsfreie Stromversorgung), Steuerungseinheiten und Backup-Systemen eingesetzt, bei denen eine konstante und ausfallsichere Energieversorgung essenziell ist. Weitere Einsatzgebiete finden sich in der Telekommunikation sowie in sicherheitskritischen Systemen wie Zutrittskontrollen oder Brandmeldeanlagen, bei denen eine zuverlässige Energieversorgung ebenfalls unerlässlich ist. Ihre hohe Zyklenfestigkeit und Wartungsfreiheit ermöglichen einen zuverlässigen Betrieb über viele Jahre hinweg, selbst bei häufigen Lade- und Entladevorgängen oder in anspruchsvollen Umgebungen mit Temperaturschwankungen und Vibrationen.

Wärmebildkamera für Feuerwehkräfte

Ein konkretes Beispiel für den Einsatz der Lithium-Eisenphosphat-Technologie ist die Integration eines robusten Lithium-Eisenphosphat-Akkus von Jauch in Wärmebildkameras für Feuerwehkräfte des österreichischen Herstellers Leader Photonics. Diese Kameras werden direkt an der Atemschutzausrüstung getragen und liefern in Echtzeit Infrarotbilder zur Orientierung in stark verrauchten Einsatzumgebungen – etwa bei Bränden in geschlossenen Räumen.

Die Anforderungen an die Energieversorgung sind dabei extrem hoch: Die Geräte müssen Temperaturen von bis zu +260 °C über mehrere Minuten standhalten, ohne dass es zu Funktionsausfällen oder Sicherheitsrisiken kommt. Hier kommen die besonderen Eigenschaften der Lithium-Eisenphosphat-Zelle voll zur Geltung: Sie ist nicht nur thermisch hochstabil, sondern auch besonders sicher im Betrieb – selbst bei direkter Körpernähe und unter extremen Bedingungen.

6. BATTERIETECHNOLOGIE BEI JAUCH

1954 gegründet, ist die Jauch Quartz GmbH seit 1976 in der Batteriebranche aktiv. Das Unternehmen hat sich zusehends auf Lithium-Batterietechnologie spezialisiert und sein Produktportfolio in diesem Bereich sukzessiv erweitert.

Ob Standard-Batterie oder anwendungsspezifische Entwicklung – Jauch verfügt über ein breites Spektrum an primären Lithium-Batterien und wiederaufladbaren Akkusystemen. Viele der Batterien sind direkt ab Lager verfügbar.

Hauseigenes Test- und Zertifizierungszentrum

Das neue Test- und Zertifizierungszentrum von Jauch in Villingen-Schwenningen unterstützt Unternehmen bei der sicheren Markteinführung von Lithium-Batterien. Im neuen Prüflabor können Zellen und Batterien umfassend getestet und zertifiziert werden – entweder direkt oder in Zusammenarbeit mit renommierten, akkreditierten Prüflaboren, um Standards wie die von UL, PSE, KC und CCC zu prüfen und zu erfüllen. Neben individuellen Tests werden sämtliche Prüfungen für den Transporttest UN38.3 der Vereinten Nationen ebenso wie für den IEC62133, den zentralen Sicherheitsstandard für wiederaufladbare Batterien der International Electrotechnical Commission (IEC), bei Jauch durchgeführt. Unternehmen erhalten durch die umfassenden Test- und Zertifizierungsmöglichkeiten eine zuverlässige Grundlage für die weltweite Vermarktung ihrer Produkte.

Jauch ist nach DIN EN ISO 9001:2015, das Umweltmanagementsystem des Unternehmens nach ISO 14001 zertifiziert. Batterien und Batterie-Packs erfüllen somit höchste internationale Produktions- und Qualitätsstandards. Sämtliche Produkte entsprechen den RoHS- und REACH-Vorgaben und sind frei von Blei und Konfliktmineralien.

Quellen

- www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Triphylit – Quelle zur geologischen Herkunft des Kathodenmaterials Triphylin, mit freundlicher Genehmigung von Rob Lavinsky www.irocks.com/irocks-history
- Arbeiten von John B. Goodenough und Michel Armand zur Entwicklung von LiFePO_4 als Kathodenmaterial
- Spotnitz, R., & Franklin, J. (2003). Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells. *Journal of Power Sources*, 113(1), 81–100
- Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). *Handbook of Batteries*. McGraw-Hill
- EU-Richtlinien: RoHS, REACH
- ISO-Normen: ISO 14001, ISO 9001:2015
- UN Transporttest: UN38.3
- IEC-Norm: IEC 62133
- www.jauch.com/blog/ein-robuster-lithium-eisenphosphat-akku-fur-leader-photonics
- www.jauch.com

ÜBER DEN AUTOR:



Jérémie Melfi
Deputy Head of Sales

Jérémie Melfi ist seit 2015 Teil der Jauch-Gruppe und verfügt damit über zehn Jahre Erfahrung in der Batteriebranche. Als Projektverantwortlicher betreut er vor allem technisch anspruchsvolle und kundenindividuelle Lithium-Batterie-Lösungen – von der ersten Idee bis zur Serienreife.

Seit Juli 2023 ist Jérémie Melfi Teil der Vertriebsleitung und gestaltet dort aktiv die strategische Weiterentwicklung des Batteriebereiches mit.