

Lithium-Ionen-Batterien in Energiespeichern



Executive Summary

Lithiumionenbatterien sind in aller Munde und aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Man findet sie in Mobiltelefonen, Tablets, Digitalkameras und Notebooks ebenso wie in Pedelecs, Elektroautos, Elektrorollstühlen und Hybridfahrzeugen. Und eben auch in vielen Stromspeichern, die mit der Dezentralisierung der Stromerzeugung und auf dem Weg zur Energieautarkie heute eine starke und immer weiter wachsende Marktpräsenz erhalten. Lithium-Ionen-Batteriespeicher sind dabei aufgrund vieler Vorteile heutzutage oft die erste Wahl. Doch wie sieht es bezüglich ihrer Sicherheit aus bzw. wie lassen sich die potenziellen Risiken minimieren?

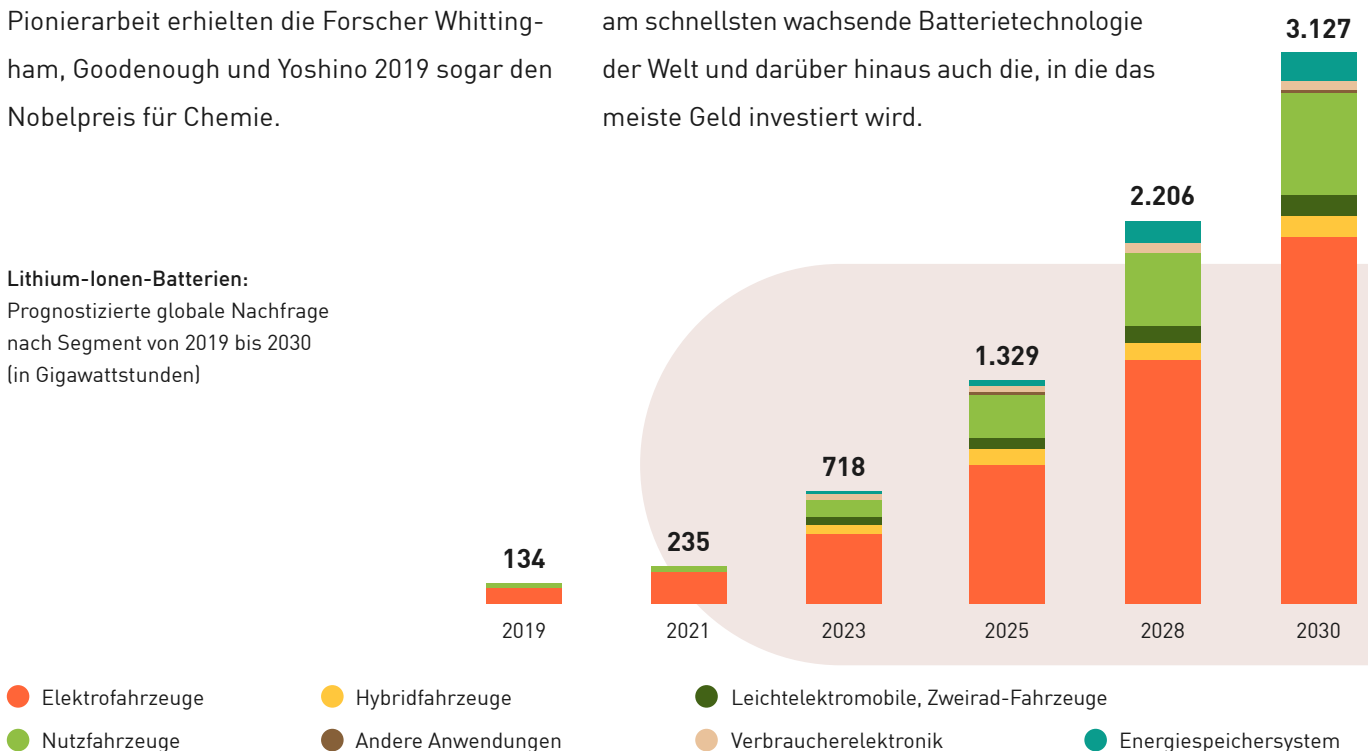
Denn fest steht: Sie sind – wie alle Technologien mit hoher Energiedichte – nicht vollständig risikofrei. Warum sie dennoch eine gute, sichere und verlässliche Form der Energiespeicherung vor allem in Privathaushalten bieten, beleuchtet dieses Whitepaper.

Intro

Lithiumionenbatterien sind widerstandsfähig, zeigen eine hohe Zyklenfestigkeit und eine hohe Energiedichte. Ihre Entwicklung geht zurück in die frühen siebziger Jahre. Der erste kommerziell erhältliche Lithium-Ionen-Akku wurde 1991 von der Firma Sony in einer Videokamera auf den Markt gebracht. Für ihre Pionierarbeit erhielten die Forscher Whittingham, Goodenough und Yoshino 2019 sogar den Nobelpreis für Chemie.

Seit Jahren werden Lithium-Ionen-Batterien technisch kontinuierlich weiter verbessert und die Produktion der Zellen in sogenannten Giga-Factories werden immer effizienter, was die Zellkosten bei gleichzeitig steigender Nachfrage und Produktionskapazität sinken lässt. Aktuell sind Lithium-Ionen-Batterien die am schnellsten wachsende Batterietechnologie der Welt und darüber hinaus auch die, in die das meiste Geld investiert wird.

Lithium-Ionen-Batterien:
Prognostizierte globale Nachfrage
nach Segment von 2019 bis 2030
(in Gigawattstunden)



Grundlagen

Vereinfacht gesagt sind Lithium-Ionen-Batterien elektrochemische Energiespeicher. Beim Laden wird dabei elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt, beim Entladen verläuft der Prozess umgekehrt: Es wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Im Gegensatz zu Primärbatterien, bei denen chemische Energie irreversibel in elektrische Energie umgewandelt wird, handelt es sich bei Lithium-Ionen-Batterien in der Regel um Sekundärbatterien. Das heißt: Da sie wieder aufladbar sind, ist eine Mehrfachnutzung ist möglich. Das macht Lithium-Ionen-Batterien zu einer wichtigen Speichertechnologie sowohl im mobilen als auch im stationären Einsatz, vor allem im Bereich der Elektromobilität und der Energiespeicherung.

Batterietypen

Im Bereich der Energiespeicher spielen Lithium-batterien – auch Akkumulatoren (Akkus) genannt – heutzutage die Hauptrolle. Aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften eignen sich besonders Lithiumionenbatterien für Stromspeicher mit hoher Energiedichte. Die Kombination aus Kathodenmaterial, und Anodenmaterial, welche in einer Lithiumionenbatterie verwendet werden, wirkt sich stark auf den Batteriebetrieb aus. Grafitanoden sind unabhängig von dem Kathodenmaterial besonders weit

verbreitet. Zu den am häufigsten verwendeten zählen diese drei:

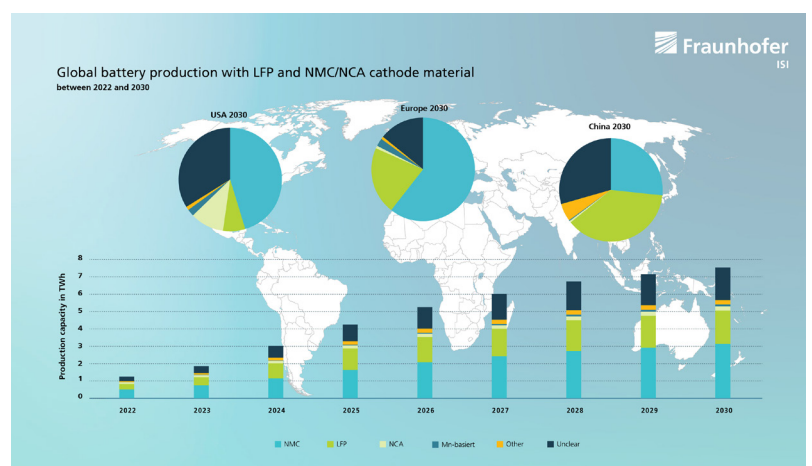
- **NMC** – Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid
- **NCA** – Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid
- **LFP** – Lithium Eisenphosphat

Batterien mit Lithiumeisenphosphat (LFP) Kathode beinhalten kein Kobalt, was sie von den NMC und NCA Batterien unterscheidet. NCA und NMC werden unter anderem in Powertools, Energiespeichern und E-Bikes eingesetzt. Auch Automotive-Anwender entscheiden sich häufig aufgrund ihrer hohen Energiedichte für diese Batteriechemie.

Seit 2024 vertreibt SENEK ausschließlich Energiespeichersysteme mit LFP-Zellen-haltigen Modulen. Denn LFP-Zellen zeichnen sich besonders durch ihre hohe Zyklenfestigkeit aus, während keine toxischen Schwermetalle in den Zellmaterialien vorkommen.

Auch wenn LFP-Zellen immer weiter verbreitet werden, so finden sich nachwievor Applikations-szenarien, für die NCA und NMC Lithiumzellen besser geeignet sind als LFP-haltige Batterien. Wenn für die Nutzung hohe Energiedichten notwendig sind, so werden meist NCA oder NMC Zellen genutzt. Sollte die Zyklenfestigkeit von besonderer Bedeutung sein, so werden häufig LFP-Zellen verwendet. So kann für jeden Anwendungsfall die geeignete Speichertechnologie gefunden werden.

Globale Produktion von Zellen mit LFP- und NMC-/NCA-Kathodenmaterial zwischen 2022 und 2030



Quelle: Inés Rosellón Inclán, Battery Update - Analysis of global battery production: production locations and quantities of cells with LFP and NMC/NCA cathode material, <https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/globale-batterieproduktion-analyse-standorte-mengen-zellen-lfp-nmc-nca-kathoden.html>, Fraunhofer ISI, 2023.

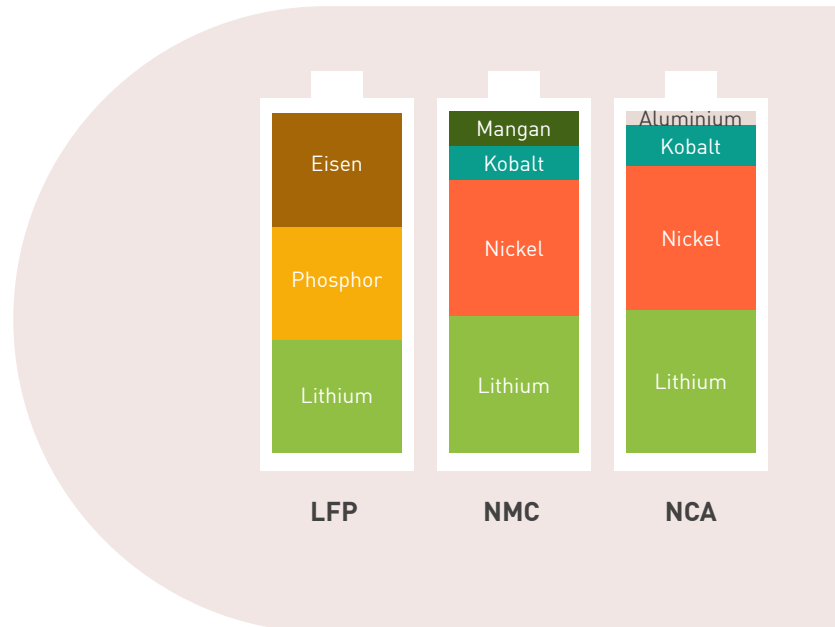
Aufbau und Funktion

Eine Lithium-Ionen-**Batteriezelle** ist immer identisch aufgebaut. Jede **Zelle** besteht aus einer positiven Elektrode (Kathode), einer negativen Elektrode Anode zwischen denen die Lithiumionen transportiert werden, sowie den Elektrolyten als Vermittler zwischen den Reaktionen und dem den Separator zur mechanischen und elektrischen Trennung der Elektroden. Letzter ist besonders sicherheitsrelevant, denn er vermeidet Kurzschlüsse.

Mehrere Zellen werden durch serielle oder parallele Verschaltung in einem **Modul** zusammengesetzt. Die Steuerung der Module des Stromspeichers erfolgt schließlich über das **Batteriemanagementsystem (BMS)**, welches in primärer Funktion dafür sorgt, den Stromspeicher effizient und funktionsgerecht zu betreiben, ohne dass es zu einer Überlastung kommt. Damit trägt das BMS maßgeblich zur Sicherheit des Speichers bei. Darüber hinaus ermöglicht es die Protokollierung von möglichen Fehlern und das Zu- und Abschalten des Systems.

Merkmale

Ein Lithium-Ionen-Akkumulator zeichnet sich durch eine hohe Energiedichte aus. Die Energiedichte ist eine relative Energiegröße, welche die gespeicherte Energiemenge auf das Volumen oder die Masse des Energiespeichers bezieht. Sie wird in Wattstunden pro Kilogramm oder pro Liter angegeben. Die Leistungsdichte wird in Watt pro Kilogramm oder Liter angegeben.



Schematische Darstellung der Inhaltsstoffe der Kathode einer Lithiumionenbatteriezelle

Die Kombination aus Energie- und Leistungsdichte bestimmt den Anwendungsfall. Durch ihre im Vergleich höhere Energiedichte können NMC und NCA haltige Lithiumionenakkus sich besonders für Anwendungen eignen, bei denen viel Energie auf kleinem Raum gespeichert werden muss. Dahingegen können LFP-Akkus Anwendungen die hohe Ratenfestigkeiten erfordern besonders gut erfüllen.

Lebensdauer

Wie es sich mit der Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien verhält, hängt sehr stark von der Anwendung ab. Unter Lebensdauer versteht man dabei den Zeitraum von der Auslieferung eines Akkus bis zu dem Zeitpunkt, an dem ein definierter Wert, welcher zumeist an der Kapazität festgemacht wird, durch Alterung unterschritten wird. Man unterscheidet dabei zwischen der zyklischen und kalendarischen Alterung. Im Feld überlagern sich beide Alterungseffekte. Mitentscheidend ist dabei die Temperatur und die Intensität der Strombelastung während der Lebenszeit, die Häufigkeit der Lade- und Entladezyklen. Denn während die kalendarische Lebensdauer den reinen Alterungsprozess (ohne Zyklisierung) beziffert, bezieht sich die Zyklenlebensdauer auf die Anzahl der verfügbaren Lade- und Entladevorgänge bis zum Unterschreiten eines Kapazitätsgrenzwertes. Ein Zyklus beschreibt dabei jeweils einen zusammenhängenden Lade- und Entladevorgang einer Zelle. Vereinfacht gilt: Ein Akku, der genutzt wird und regelmäßig aufgeladen und wieder entladen wird, altert, verliert leicht an Kapazität und somit irgendwann das Ende seiner Zyklenlebensdauer.

Sicherheit

Da in Lithium-Ionen-Batterien Materialien mit hohen Energiedichten zum einen und entflammbare Elektrolyten zum anderen zum Einsatz kommen, besteht generell die Möglichkeit, dass sicherheitskritische Situationen ausgelöst werden. Denn: Je mehr Energie ein Speicher enthält, desto größer ist das potenziell von ihm ausgehende Risiko. Äußere und innere Einflüsse wie etwa Kurzschlüsse, hohe Temperaturen oder auch mechanische Deformationen können solche sicherheitskritischen Situationen auslösen. Ein weiterer sicherheitsrelevanter Faktor ist die Reaktion bei einer möglichen Überladung von Zellen.

Der Gesetzgeber macht daher sehr strenge Vorgaben, was die Sicherheit im Zusammenhang mit elektrischen Anlagen betrifft. Sie sind in DIN-Vorschriften festgehalten. Alle im deutschen Markt verkauften Batteriemodule müssen den Kurzschlussstest gemäß DIN EN 62123/62619/62281 bestehen. Das gilt selbstverständlich auch für die in SENEC-Speichern verbauten Module.

Ein Vergleich der Batterietypen in punkto Sicherheit lässt sich nur schwer ziehen. Alle Typen beinhalten einen brennbaren Elektrolyten und benötigen deshalb eine sichere

Handhabung. Im Falle eines Brandes einer Lithium-Ionen-Batterie brennt in der Regel zunächst der Elektrolyt, weil er leicht entzündlich ist. Um das Risiko zu minimieren, werden entsprechende Sicherheitssysteme eingesetzt, z.B. das o.g. Batteriemanagementsystem (BMS). Wichtig ist, dass das BMS auf die jeweilige Zellchemie und Batteriezelle abgestimmt ist, um die Zelle vor einer kritischen Schädigung zu schützen. Das BMS übernimmt beim Be- und Entladen neben der Überwachung des berechneten Ladezustands oder „State of Charge“ (SOC) auf Zell- und Systemebene zusätzlich die Funktion als Schnittstelle zwischen Speichersystem und Batteriemodul. Unter Verwendung von Sensorik können Strom, Spannungen, Temperaturen gemessen, bewertet und geregelt werden. Damit trägt das BMS als ein zentraler Bestandteil zur Sicherheit des Speichersystems bei. Darüber hinaus ermöglicht es die Fehlerprotokollierung und das Abschalten des Systems.

Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LFP) werden mitunter als besonders sicher beworben. In Bezug auf die Entflammbarkeit der Batteriezelle an sich gibt es jedoch keine wesentlichen Unterschiede bei den unterschiedlichen Lithium-Ionen-Batterietypen. Die wesentlichen Komponenten der LFP-Batteriezellen sind identisch mit den Bestandteilen von Kobalt-haltigen Batteriezellen, wie zum Beispiel dem flüssigen Elektrolyten, dem Leitsalz oder dem Separator. Der wesentliche Unterschied liegt im Verhalten bei einem sicherheitskritischen Kurzschluss. Hier wird bei Kobalt-haltigen

Lithiumionenzellen durch starke Selbsterhitzung der Zelle Sauerstoff gebildet, welcher eine Selbstentzündung der Batteriezelle möglich macht. Bei LFP-Zellen können zwar ebenfalls Kurzschlüsse auftreten, da durch Selbsterhitzung aber kein Sauerstoff freigesetzt wird, wird die Selbstentzündung der Zelle erschwert. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit eines thermischen Durchgehens. Die Entzündbarkeit der nach einem Kurzschluss aus der Zelle austretenden Gase ist jedoch bei beiden Batterietypen hoch.

	LCO	LMO	NMC	NCA	LFP
Umwelt	--	++	-	-	++
Sicherheit	-	+	0	--	++
Nennspannung/ V	3,7	3,7	3,5 / 3,7	3,6	3,2 / 3,3
Volumetrische Energiedichte Wh/l	320 – 500	290 – 340	490 – 580	480 – 670	160 – 260
Gravimetrische Energiedichte Wh/kg	110 – 180	100 – 120	180 – 210	180 – 250	80 – 120
Lebensdauer (Zyklen)	300 – 1000	1000 – 1500	500 – 1000	500 – 1000	2000 – 5000

Übersicht der verschiedenen Batterietypen

Quelle: KIT

Nachhaltigkeit

Lithium-Ionen-Batterien enthalten im Gegensatz zu anderen Batteriesystemen größtenteils recycelbare Materialien und haben daher einen Umweltvorteil. Dies ist nach RoHS (Restriction of Hazardous Substances) in der EU-Richtlinie 2011/65/EU entsprechend verankert. Die enthaltenen Materialien wie Kobalt und Nickel können unter Zuhilfenahme physikalischer und chemischer Verfahren zum Großteil recycelt

und wiederverwendet werden. So regelt es das Batteriegesetz (BattG), das die Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren vorgibt. Dieses 2009 erstmalig in Kraft getretene deutsche Gesetz wurde erst 2021 aktualisiert (BattG2) und im Rahmen der 2024 in Kraft getretenen Batterieverordnung weiter verschärft, zum Beispiel durch Recyclingquoten.

Ausblick

Im Rahmen des Klimaschutzplans der Bundesregierung, laut dem bis 2050 die jährlichen Treibhausgasemissionen um bis zu 95 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 gesenkt werden sollen, kommt der Umstrukturierung der deutschen Energieversorgung sowie einer abgasfreien Mobilität eine wichtige Rolle zu. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energie sollen fossile Brennstoffe einer nachhaltigen Energieversorgung schrittweise weichen.

Ein wesentlicher Schlüsselfaktor für den dafür erforderlichen Transformationsprozess ist die Batterietechnik. Gerade Lithiumionenbatterien spielen aktuell eine wichtige Rolle in diesem Prozess. Dabei finden sich wiederaufladbare Lithiumionenbatterien sowohl in stationären Anwendungen zur Speicherung von elektrischer Energie aus regenerativen Stromerzeugern als auch zur Energieversorgung in Fahrzeugen wieder. Als Maßnahmen zur Zielerreichung sind der Aufbau der elektrochemischen Kompetenz sowie die Weiterentwicklung der aktuellen Batteriesysteme und deren Leistungsfähigkeit unabdingbar. Fokus der Forschung liegt dabei auf umfassenden Aspekten, z.B. einer noch höherer Energiedichte, Verkürzung der Ladedauer, verbessertem Temperaturverhalten, längerer Lebensdauer und vor allem auch der erhöhten Sicherheit.

Das größte Potenzial in der Optimierung der Akkus liegt in den Materialien und deren Zusammensetzung und Prozessierung um die Batterieeigenschaften wie Energiedichte, Leistung, Sicherheit und Materialverfügbarkeit zu verbessern. In der Folge konzentriert sich darauf derzeit kurz- bis mittelfristig auch die Forschung. Derzeit ist sich die Wissenschaft allerdings einig, dass aktuell kein Weg an der Verwendung von Lithiumhaltigen Batterieaktivmaterialien vorbeiführt. Gleichzeitig wird in der Forschung und Entwicklung sehr viel Augenmerk auf das Thema Sicherheit gelegt. Ein Beispiel dafür sind Entwicklungen im Bereich von Brandschutzgehäusen.

Zusammenfassung

Batteriezellen enthalten – egal um welchen genauen Typen es sich handelt – einen brennbaren Elektrolyten und benötigen deshalb eine sichere Handhabung. Die Frage der Batteriesicherheit hat über den Batteriespeicher hinaus viele Facetten, wodurch sich ein Vergleich in punkto Sicherheit nur schwer ziehen lässt. Dazu gehören das Batteriemanagementsystem, die Fertigungsqualität, die Materialreinheit und die Qualität der elektrischen Kontakte ebenso wie Umweltfaktoren und der angemessene Batterieschutz. Der Gesetzgeber gibt der Batteriesicherheit hohe Bedeutung und alle im deutschen Markt verkauften Batteriemodule müssen den Kurzschlussstest gemäß DIN EN 62123/62619/62281 bestehen.

Alle SENECS.Home-Systeme verfügen zusätzlich über ein mehrstufiges Sicherheitskonzept - auf der Zellebene, auf der Modulebene und auf der Systemebene. Expert:innen wurde der SENECS in Zusammenarbeit mit renommierten Experten der SENECS.SmartGuard entwickelt, ein neues Diagnose- und Monitoringkonzept, das kontinuierlich die Betriebsparameter. Ferner erkennt es kleinste Abweichungen auf Zellebene, wie zum Beispiel sehr selten vorkommende unerwünschte Alterungseffekte, und kann vorbeugend tätig werden. So ist das System in der Lage, zuverlässig einen sich möglicherweise anbahnenden Zelldefekt zu erkennen und proaktiv jede Gefährdung zu beseitigen, indem die Software den Speicher automatisch in einen sicheren Betriebsmodus versetzt, sobald eine Gefahr erkannt wird. Dieses neue Diagnose verbessert sowohl die Diagnosetool als auch das Batteriemanagement nachhaltig und unterstützt einen langlebigen und leistungsfähigen Betrieb der Speicher.

Abschließend gilt: Wichtig ist beim Kauf eines Stromspeicher-Systems darauf zu achten, ein bewährtes System auszuwählen, welches von einem erfahrenes Fachunternehmen sachgemäß installiert wird. Dadurch wird die Sicherheit des Speichers gewährleistet.



SENEC GmbH
Wittenberger Straße 15
04129 Leipzig
info@senec.com
www.senec.com