

Lithium-Ionen-Batterien in Energiespeichern – ein Vergleich



Executive Summary

Sie sind in aller Munde und aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken: die Lithium-Ionen-Batterien. 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 – per se entzündlich. Warum sie dennoch eine gute, sichere und verlässliche Form der Energiespeicherung vor allem in Privathaushalten bieten, beleuchtet dieses Whitepaper.

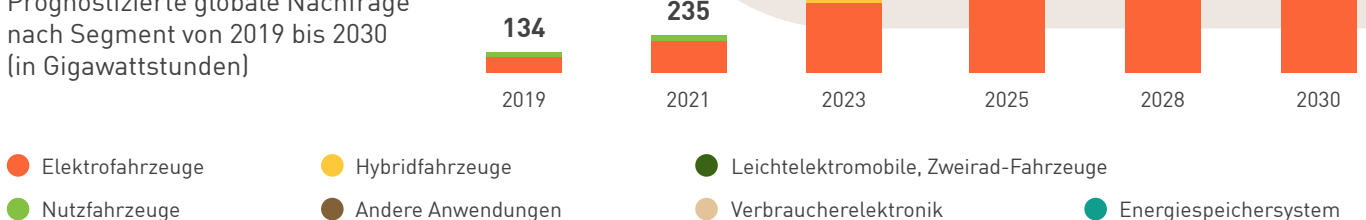
Intro

Sie sind widerstandsfähig, haben 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 Hi8-Videokamera auf den Markt gebracht. Für ihre Pionierarbeit erhielten die Forscher Whittingham, Goodenough und Yoshino 2019 sogar den Nobelpreis für Chemie.

Seitdem werden Lithium-Ionen-Batterien technisch kontinuierlich weiter verbessert, ihre Zellproduktion 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 geht es 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 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.

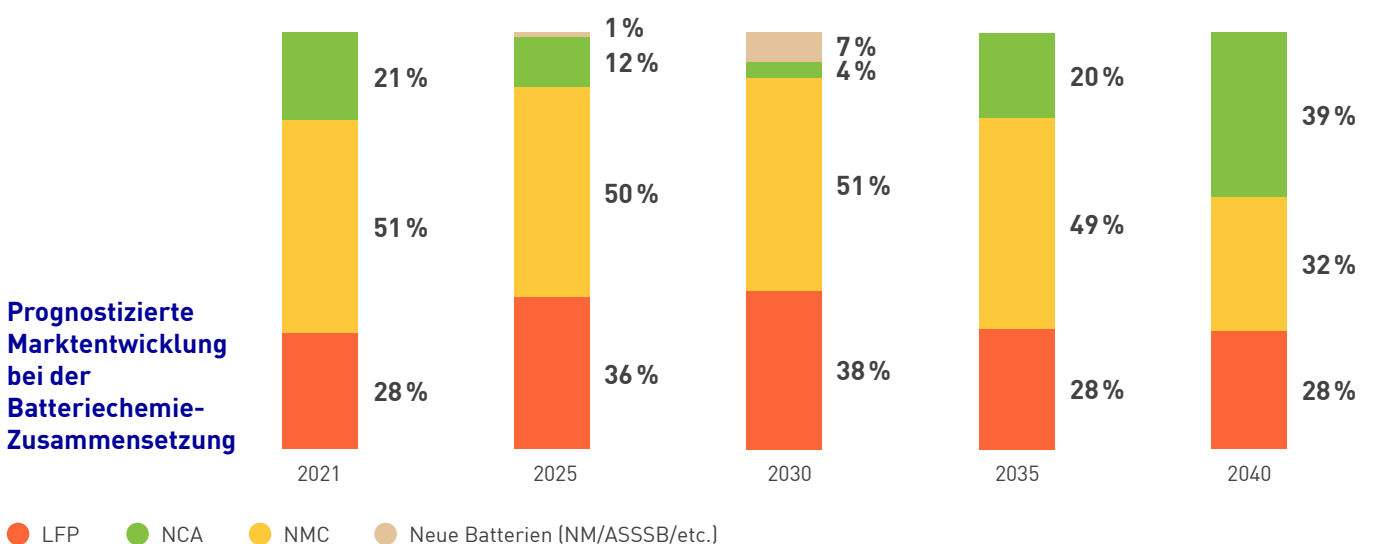
Batterietypen

Im Bereich der Energiespeicher spielen Lithiumbatterien – auch Akkumulatoren (Akkus) genannt – heutzutage die Hauptrolle. Lithium ist deshalb so geeignet, weil es als leichtestes Metall des Periodensystems besonders „gern“ eins seiner Elektroden abgibt und sich daher bestens zur Energiespeicherung eignet. Für die Leistung der Batterie ist das Kathodenmaterial, aus denen sie besteht, entscheidend. Auf dem Markt existieren verschiedene chemische Zusammensetzungen für Lithiumbatterien. Zu den am häufigsten verwendeten zählen diese drei:

- **Lithium NMC** – Lithium Nickel Mangan Kobalt (LiNiMnCoO₂)
- **Lithium NCA** – Lithium Nickel Kobalt Aluminium (LiNiCoAlO₂)
- **Lithium LFP** – Lithium Eisenphosphat (LiFePO₄)

Während das zuletzt genannte LFP die Bezeichnung für Batteriezellen ist, deren Chemie auf Lithium-Eisen-Phosphat basiert, enthalten die Typen NMC und NCA Kobalt im Gemisch mit Nickel und Mangan bzw. Nickel und Aluminium. Beide Typen lassen sich unter dem Begriff Lithium-Kobalt-Zellen zusammenfassen. Sie sind die mit Abstand am häufigsten eingesetzten Zellen. Im Jahr 2021 lag der Marktanteil von Lithium-Kobalt-Zellen bei 72 Prozent, während nur 28 Prozent des Marktanteils auf Lithium-Eisenphosphat entfiel. NCA und NMC werden unter anderem in Powertools, Energiespeichern und E-Bikes eingesetzt. Auch Anwender in besonders sensiblen Branchen wie Automobil und Medizin entscheiden sich häufig für diese Batteriechemie. Die in den SENEK-Speichern verbauten Modul-Technologie beinhaltet ebenfalls Lithium-Kobalt-Zellen. Der entscheidende Vorteil liegt in der spezifischen Energiedichte, die im Vergleich zu LFP deutlich höher ist. Das bedeutet: mehr Kapazität bei weniger Gewicht und somit auch weniger brennbare Materialien in den Zellen.

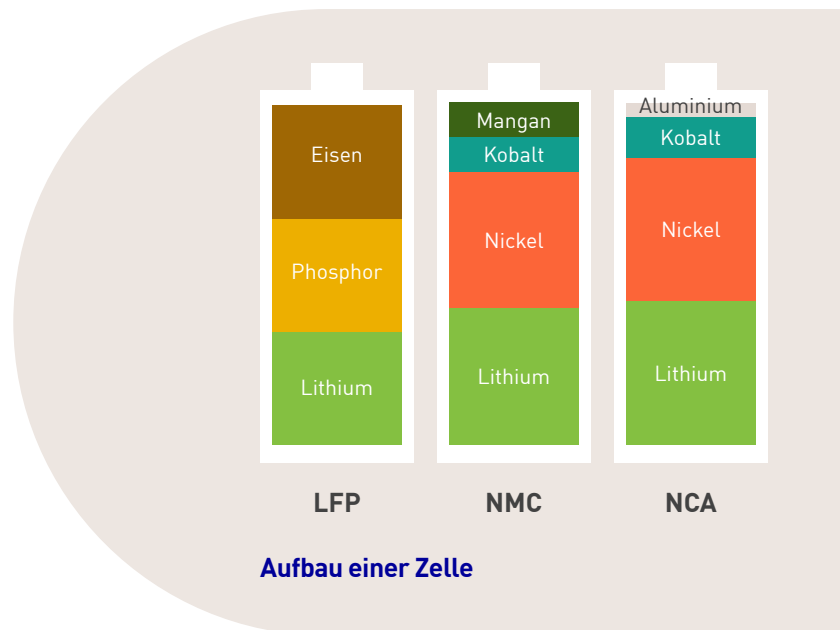
Wenngleich auch die LFP-Batterietechnologie weiterentwickelt und eingesetzt wird – besonders auf kostensensitiven Märkten, wo durch steigende Materialpreise evozierter Kostendruck herrscht –, sind doch überall dort, wo es auf Performance ankommt, derzeit Lithium-Kobalt-Zellen führend. Folgende Tabelle gibt einen Ausblick darauf, wie Expert*innen die Marktentwicklung prognostizieren.



Aufbau und Funktion

Eine Lithium-Ionen-**Batterie** ist immer identisch aufgebaut. Batterie ist dabei der Oberbegriff für zusammengeschaltete Zellen. Jede **Zelle** besteht aus einer positiven Elektrode, einer negativen Elektrode, einem Elektrolyten als Vermittler zwischen den Reaktionen an den Elektroden (flüssig, fest oder Polymer) und einem Separator. Letzterer ist besonders sicherheitsrelevant, denn er vermeidet Kurzschlüsse.

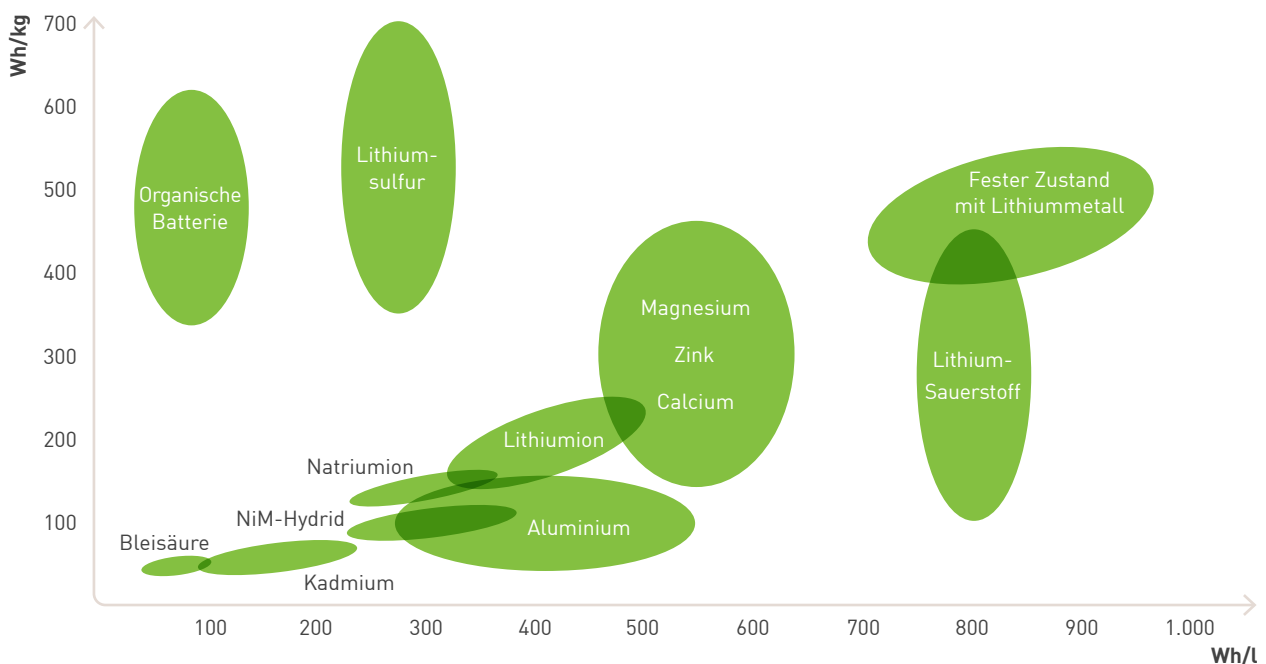
Mehrere Zellen werden zu einem **Modul** zusammengefügt. Jedes Modul beinhaltet ein Kontrollsystem. Die Steuerung der Module des Stromspeichers erfolgt schließlich über das **Batteriemanagementsystem**, welches in primärer Funktion dafür sorgt, den Stromspeicher effizient und funktionsgerecht zu betreiben, 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 hat eine höhere Energiedichte als andere Akku-Typen. 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 Leistung wird in Watt pro Kilogramm oder Liter angegeben.

Die Energiedichte verwendet man, um das Anwendungsspektrum der Speicher zu beschreiben, während die Leistungsdichte die Leistung pro Gewicht bzw. Volumen angibt. Durch ihre höhere Energiedichte arbeiten Lithium-Ionen-Akkus mit geringerem Verlust als LFP-Module, sie sind also leistungsstärker und sehr widerstandsfähig.



Vergleich der Energiedichten gängiger Batterien

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. Mitentscheidend ist dabei 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 möglichen Zyklen einer Zelle. Ein Zyklus beschreibt dabei jeweils einen zusammenhängenden Lade- und Entladevorgang einer Zelle. Vereinfacht gilt: Ein Akku, der genutzt wird und regelmäßig auf- und wieder entladen wird, erreicht in der Regel zuerst das Ende seiner Zyklenlebensdauer.

Sicherheit

Da in Lithium-Ionen-Batterien Materialien mit hohen Energiedichten zum einen und entflammable Elektrolyte 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 SENECSpeichern verbauten Module.

Ein Vergleich der Batterietypen in punkto Sicherheit lässt sich nur schwer ziehen. Alle Typen beinhalten ein brennbares Elektrolyt und benötigen deshalb eine sichere Handhabung. Im Falle eines Brandes einer Lithium-Ionen-Batterie brennt in der Regel zunächst das Elektrolyt, weil es leicht entzündlich ist. Um das Risiko zu minimieren, werden bei NCA-Batterien entsprechende Sicherheitssysteme eingesetzt, z.B. das o.g. Batteriemagementsystem (BMS). Wichtig ist, dass das

BMS auf die jeweilige Zellchemie abgestimmt ist, um die Zelle vor einer kritischen Schädigung zu schützen. Das BMS übernimmt beim Be- und Entladen neben der Überwachung des berechneten State of Charge (SOC) auf Zell- und Systemebene zusätzlich die Funktion als Schnittstelle zwischen Gerät und Batterie. Unter Verwendung von Sensorik können Strom, Spannungen, Temperaturen der Einzelheiten und des Gesamtsystems gemessen und teilweise auch geregelt werden. Damit trägt das BMS als ein zentraler Bestandteil zur Sicherheit 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 gibt es jedoch keine wesentlichen Unterschiede bei den unterschiedlichen Lithium-Ionen-Batterietypen. Die wesentlichen Bestandteile der Lithium-Eisenphosphat-Batterien sind identisch mit den Elektrolyten der übrigen Lithium-Ionen-Batterien. Bei gleichem Zellspannungsniveau und gleicher Zellbauweise zeigen NMC/NCA- und LFP-Zellen vergleichbares Verhalten bei Beschädigungen bzw. Kurzschlüssen. NMC/NCA-Zellen können jedoch technologiebedingt mehr Energie speichern, sie erreichen dadurch ein höheres Zellspannungsniveau.

	LCO	LMO	NMC	NCA	LFP
Umwelt	--	++	-	-	++
Sicherheit	-	+	o	--	++
Netzspannung/ 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
Entladestrom C	1 – 2	3 – 20	1 – 10	1 – 10	10 – 50
Lebensdauer (Zyklen)	300 – 1000	1000 – 1500	500 – 1000	500 – 1000	2000 – 5000
Anschaffungskosten €/kWh Zelle (18650) 04/2014	170	230	200	210	450
Relative Kosten €/kWh /Zyklus	0,17 – 0,60	0,17 – 0,23	0,20 – 0,40	0,20 – 0,40	0,09 – 0,25
Anwendungsbereiche	Hohe Energiedichte Haushaltsgeräte	Hohe Leistung Elektrowerkzeuge, Gartengeräte, Medizinische Anwendungen, Elektromobilität	Hohe Energiedichte + Leistung Elektrowerkzeuge, Gartengeräte, Haushaltsgeräte, Medizinische Anwendungen, Elektromobilität, Energiespeicher	Hohe Energiedichte + Leistung Elektrowerkzeuge, Gartengeräte, Haushaltsgeräte, Elektromobilität, Energiespeicher	Hohe Energiedichte + Leistung Elektrowerkzeuge, Gartengeräte, Haushaltsgeräte, Elektromobilität, Notfallbeleuchtung, Energiespeicher

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).

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. Der Batteriespeicher findet sich unter anderem 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. Zentrum der Forschung liegt dabei auf umfassenden Aspekten, z.B. einer noch höheren 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. In der Folge konzentriert sich darauf derzeit auch die Forschung. Derzeit ist sich die Wissenschaft allerdings einig, dass aktuell kein Weg an der Verwendung von Lithium vorbeiführt. Gleichzeitig bleibt die Forschung weiter an dem Thema Sicherheit dran. Ein Beispiel dafür sind Entwicklungen im Bereich von Brandschutzgehäusen.

Zusammenfassung

Speicherbatterien enthalten – egal um welchen genauen Typen es sich handelt – ein brennbares Elektrolyt und benötigen deshalb eine sichere Handhabung. Die Frage der Batteriesicherheit hat über den Batterietypus hinaus viele Facetten, wodurch sich ein Vergleich in punkto Sicherheit nur schwer ziehen lässt. Dazu gehören das Batteriemanagementsystem, die Fertigungsqualität, die Materialeinheit und die Qualität der elektrischen Kontakte ebenso wie Umweltfaktoren und der angemessene Batterieschutz. Von all diesen Aspekten sind dann auch sicherheitsrelevante Aspekte abhängig. 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 SENE.Home-Systeme verfügen zusätzlich über ein mehrstufiges Sicherheitskonzept – auf der Zellebene, auf der Modulebene und auf der Systemebene. Erst jüngst wurde in Zusammenarbeit mit renommierten Experten der SENE.SmartGuard entwickelt, ein neues Schutz- und Monitoringkonzept, das kontinuierlich die Betriebsparameter bis auf Ebene der einzelnen Batteriezelle prüft. 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 abschaltet, sobald eine Gefahr erkannt wird. Zudem verbessert das System die Lebensdauer Ihres Speichers.

Dieses neue Sicherheitskonzept verbessert sowohl die Sicherheit 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



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