

White Paper

# Einführung in die Lithium-Polymer- Batterie-Technologie



## Inhalt

Variable, kleine Kraftpakete .....	3
I. Geschichte der Lithium-Batterie .....	3
II. Merkmale und Unterscheidungskriterien .....	5
III. Fertigungsschritte .....	7
IV. Chemische Funktionsweise .....	8
V. Elektrische Daten .....	9
VI. Hinweise für einen sicheren Betrieb .....	10
VII. Anwendungen .....	12
VIII. Entwicklung und Design .....	13

© Jauch Quartz GmbH & Jauch Battery Solutions GmbH, In der Lache 24, 78056 Villingen-Schwenningen, Germany.  
www.jauch.com, November 2018

Alle Rechte vorbehalten. Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die schriftliche Genehmigung durch Jauch Quartz GmbH nicht gestattet. In dieser Publikation enthaltene Informationen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die Erstellung dieses Dokuments erfolgte mit größtmöglicher Sorgfalt, es enthält den zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellen technischen Stand. Änderungen vorbehalten.

## Variable, kleine Kraftpakete

Leicht, flach, kraftvoll, langlebig. Und überraschend variabel bei Bauform und Kapazität. Solche Vorteile zeichnen Lithium-Polymer-Batterien aus. In einer ganzen Reihe weiterer Punkte unterscheiden sie sich von anderen Arten der Lithium-Batterien. In zahllosen Anwendungen empfehlen sie sich als Alternative zu herkömmlichen Lithium-Ionen-Akkumulatoren. Vor allem in kleinen, flachen und mobilen Geräten können sie eine beständige Energieversorgung gewährleisten. Dieses White Paper führt in die Lithium-Polymer-Batterie-Technologie ein. Es enthält einige wichtige Hinweise zur Konstruktion von Gehäusen sowie zur Handhabung dieser Energiespeicher.

## I. Geschichte der Lithium-Batterie

Wiederaufladbare Batterien gibt es seit mehr als 150 Jahren. Am Anfang stand die Blei-Batterie. Es folgte die Nickel-Cadmium-Batterie. In den 1990er Jahren starteten rasante Entwicklungsschritte. Die Nickel-Metall- ersetzte die Nickel-Cadmium-Technologie.

Das Funktionsprinzip elektrodenchemischer Systeme für die Anwendung in Batterien beschäftigte Wissenschaft und Industrie weiterhin. Neuere Grundlagen zur reversiblen Einlagerung von Ionen zwecks Energiespeicherung wurden in den 1970er Jahren an der Technischen Universität München erforscht. Elektroden auf der Basis von Lithium (Li)-Verbindungen erwiesen sich schließlich als wirkungsvoll und erfolgversprechend.

Im Jahr 1980 gelang an der Universität Oxford ein entscheidender Schritt auf dem Weg zum Li-Ionen-Akkumulator. Entwickelt wurde eine Lithium-Cobaltdioxid-Verbindung als Material für die positive Elektrode. Auf Lithium basierende, wiederaufladbare Batterien weisen gegenüber den früheren Technologien eine dreifach höhere Spannung pro Zelle auf (3,6 V). Das bedeutet: Man benötigt z.B. lediglich eine Zelle für den GSM-Chip in einem Mobiltelefon. Li-Systeme sind wesentlich leichter als ihre Vorgänger.

Das japanische Unternehmen Sony brachte 1991 den ersten kommerziell erhältlichen Li-Ionen-Akku heraus. Er wurde zum Betrieb einer Videokamera und in Notebooks eingesetzt.

In den folgenden Jahren entwickelte sich der Mobilfunk zum Massenmarkt und zur treibenden Kraft für die Anwendung kleinerer Zellen mit hoher Energiedichte. Die Handy-Hersteller wählten zunächst Nickel-Metallhydrid-Batterien als Energiespeicher. Sie waren schwerer als heutige Lösungen, aber damals die neueste Technologie.

Eines der ersten Mobiltelefone mit Li-Ionen-Akku war das Siemens S4 (fig 1). Es kam Mitte der 1990er Jahre auf den Markt. Der Hersteller stattete es mit zwei zylindrischen Zellen im 18650-Format aus. Bald

# Einführung in die Lithium-Polymer-Batterie-Technologie

darauf kamen Mobiltelefone mit prismatischer Li-Ionen-Zelle auf den Markt. Zu den Anbietern zählten Asahi, Toshiba bzw. Varta.

Im Jahr 1999 brachte Ericsson mit dem TS28s eines der ersten Mobiltelefone mit Lithium-Polymer (LiPo)-Zellen auf den Markt (fig 1). Es war für damalige Verhältnisse sehr klein und sensationell flach.

Mit diesem Meilenstein startete die Vermarktung der Li-Polymer-Batterie-Technologie. Sie ermöglichte den Einsatz extrem flacher Batterien. Das hatte Auswirkungen auf das Design der Geräte. Sie konnten dünner konzipiert werden im Vergleich zu Geräten mit Li-Ionen-Akkus bzw. Rundzellen, die allein 10 bis 18 mm Durchmesser beanspruchen.



fig 1. Schrittmacher für die massenhafte Anwendung der Li-Batterie-Technologie: Siemens S4 (links), Ericsson TS28s (rechts). Bilder: Werksfotos

Die Anwendung von Li-Ionen- bzw. Li-Polymer-Batterien stellt heute einen Massenmarkt dar. In Milliarden elektronischer Devices, Smartphones, Wearables und vielen anderen mobilen sowie stationären Geräten dienen sie als Energiespeicher. Li-Polymer-Zellen machten die Entwicklung von ultraleichten, dünnen Notebooks, Tablets und Smartphones erst möglich. Der Absatz von Li-basierten Batterien steigt laut Marktprognosen bis 2024 jährlich um etwa 15%.

Die Wissenschaft bietet derzeit keine praktikable Alternative zu Li-Ionen- bzw. Li-Polymer-Batterien. In der Zukunft sollten jedoch Ersatzstoffe für die Elektroden gefunden werden, weil die bisher verwendeten Metalle (Kobalt etc.) endlich sind.

## II. Merkmale und Unterscheidungskriterien

Die Funktionsweise und das Konstruktionsprinzip von Li-Polymer-Batterien sind identisch mit der von Li-Ionen-Batterien. Diese Batterien funktionieren nach dem Prinzip der De-Interkalation und Interkalation von Lithiumionen von positiven Elektrodenmaterialien zu negativen Elektrodenmaterialien.

Die Sandwich-artig aufgebauten Zellen (fig 2) bestehen aus Graphit-Elektrode (negativ), Lithium-Metalloxyd-Elektrode (positiv) und Trennschicht (Separator). Das Lithium-Metalloxyd basiert auf Mangan-, Nickel- oder Kobaltoxid-Verbindungen oder einer Mischung dieser Materialien. Eisenphosphat wird in entsprechenden Zellen mit etwas niedrigerer Spannungslage als Alternative in Li-Eisenphosphat-Zellen eingesetzt. Die Zusammensetzung beeinflusst die Eigenschaften des Akkus und unterscheidet sich je nach Hersteller und Güteklasse.

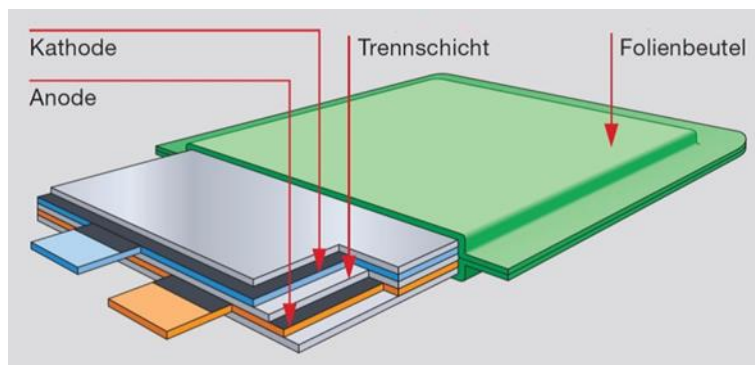


fig 2. Konstruktionsprinzip von Li-Ionen-Zellen. Grafik: © Uni Siegen

Wesentliche Kriterien, die Li-Polymer-Batterien von anderen Zellen unterscheiden:

- **Li-Ionen-Zellen** haben ein festes Gehäuse aus Edelstahl oder Aluminium. Überwiegend hat das Gehäuse eine zylindrische Form (Rundzellen). Ebenso werden rechteckige Formen angeboten.

Nachteile: relativ hohe Werkzeugkosten für die Gehäusefertigung, begrenzte Abmessungen.

Vorteile: stabile, mechanisch feste Gehäuse, so dass sie nur schwer zu beschädigen sind. Ein Laserschweißverfahren verschließt die Zellen.

**Li-Polymer-Zellen**, auch Soft- oder Pouchcell genannt, haben ein dünnes und eher „weicheres“ Gehäuse – eine Art Tasche – aus tiefgezogener Aluminiumfolie. Das zumeist prismatische Gehäuse lässt sich einfacher und kostengünstiger herstellen als die festen Gehäuse für Li-Ionen-Zellen. Die weiteren Komponenten aus hauchdünnen Schichtfolien (< 100 µm) lassen sich ebenfalls relativ kostengünstig in Massen fertigen.

Die Zellen sind leicht, dünn und lassen sich in verschiedensten Formen und Größen fertigen. Großflächige Formen und Bauhöhen von weniger als 1 mm sind machbar. Allerdings verlangen die Zellen ein vorsichtiges mechanisches Handling.

Die Gehäusefolie ist beidseitig mit Kunststoff beschichtet. Innen: Polyolefine, resistent gegen die Zellbestandteile. Außen: umweltresistentes Polyamid. Das wasserdichte Laminat wird verschweißt und umschließt die Zelle aus Kathode, Anode und Separator.

Die Durchführung der Ableiter im Bereich der Terrasse galt als kritischer Punkt. Eine zusätzliche auf dem Ableiter aufgeschweißte Folie erhöht die Abdichtung in diesem Bereich der Verschweißung des „Gehäuses“.

- **Elektrodensatz:** Bei Li-Polymer-Batterien besteht er aus einer kohlenstoffhaltigen Masse (Graphit + Zusätze), pastiert auf ein metallisches Substrat. Die Kathode besteht aus dreidimensionalen, lithiierten Kobaltoxiden oder NMC-Mischoxiden (Nickel/Mangan/Kobalt), ebenfalls auf ein metallisches Substrat pastiert.

An beiden Elektroden sitzen Ableiter. Zusammen mit dem Separator aus einem üblicherweise dreilagigen Polyolefin werden sie um den Kern gewickelt. Der Kern besteht in der Regel aus einer Flachnadel, um den rechteckigen Wickel herzustellen. Der Wickel sitzt in der Vertiefung der Pouch Folie, die teilweise gefaltet und über den Wickel gelegt wird. Die Abdichtung erfolgt mittels Folienverschweißung.

- **Design:** Vorteilhaft ist die nahezu unendliche Zahl von Baugrößen und Formaten aufgrund des Verzichts auf ein festes Metallgehäuse und der kompakten Bauweise. Vor allem die Möglichkeit, sehr flache Zellen konstruieren zu können, zeichnet die Li-Polymer-Batterie-Technologie aus. Sie können dünner als 1 mm sein.

Das führt zu einer großen Design-Freiheit des Endproduktes. Individuelle Maße sind auch bei geringeren Stückzahlen möglich. Der für die Batterie vorgesehene Raum kann optimal ausgenutzt werden.

- **Energiedichte:** Die Energiedichte liegt höher als bei anderen Zellarten. Bezogen auf das Gesamtgewicht weisen Li-Polymer-Zellen eine etwas höhere Energiedichte als Li-Ionen-Zellen auf. Sie lassen sich wie Li-Ionen-Batterien für höhere Kapazitäten problemlos parallel verschalten.
- **Selbstentladung:** Die relativ geringe Selbstentladung zählt zu den weiteren Vorteilen der LiPo-Zellen. Sie sollten jedoch vor Überladung, Tiefentladung und extremen Temperaturen geschützt werden.

- **Zulassung:** Die Verbreitung der Li-Polymer-Zellen auf dem Markt bestätigt die Vorteile und Akzeptanz dieser Technologie. Viele Zellen auf dem Markt sind nach UL 1642 zertifiziert. Es sollte vor Einsatz einer Zelle geprüft werden, ob diese eine UL-Zulassung hat und ob der Hersteller Werkzeuge für die Produktion besitzt.

## III. Fertigungsschritte

Die Herstellung von Li-Polymer-Zellen lässt sich in etwa zehn Schritte einteilen (fig 3). Dazu zählen auch Qualitätsprüfungen bzw. Inspektionsprozesse.

- Zunächst erfolgen das Mischen und Vorbereiten der Materialien für die Elektroden (Material mixing).
- Die Masse wird auf metallische Substrate pastiert (Coating).
- Trocknen, Kalandrieren (Calandaring) und Rollenschnitt (Slitting) schließen sich an. Kalandrieren bedeutet, das Material auf die gewünschte Dicke zu walzen.
- Der Rollenschnitt bringt die Elektrodenbänder auf das geplante Endmaß.
- An beiden Elektroden werden Ableiter angefügt (Electrode assembly).
- Zusammen mit dem Separator aus einem meist dreilagigen Polyolefin werden sie um den Kern gewickelt (Winding). Der Kern besteht meist aus einer Flachnadel.
- Der Wickel wird in die Vertiefung einer Folie gelegt, die teilweise gefaltet und über den Wickel gelegt wird. Eine Folienschweißung dichtet die Seiten ab.

Diese Prozesse lassen sich in normaler Atmosphäre durchführen. Die weiteren Schritte stellen höhere Anforderungen an die Produktionsanlage.

- Die verpackten Wickel müssen unter Vakuum und absolutem Feuchtigkeitsausschluss getrocknet werden.
- Es folgen das Einbringen des Elektrolyten (Electrolyte injection) mit dem Leitsalz sowie das Entgasen und Verschließen der Zelle.
- Da die Zellen im entladenen Zustand gefertigt werden, müssen sie nun formiert und aktiviert werden. Es erfolgt die erste Aufladung (Electrical activation).
- Prüfungen von Spannungsverlauf über die Zeit (Feinschluss Aussortierung), Kapazität, Qualität und Sicherheit (X-ray full inspection, Packaging inspection) schließen den Prozess ab.

# Einführung in die Lithium-Polymer-Batterie-Technologie

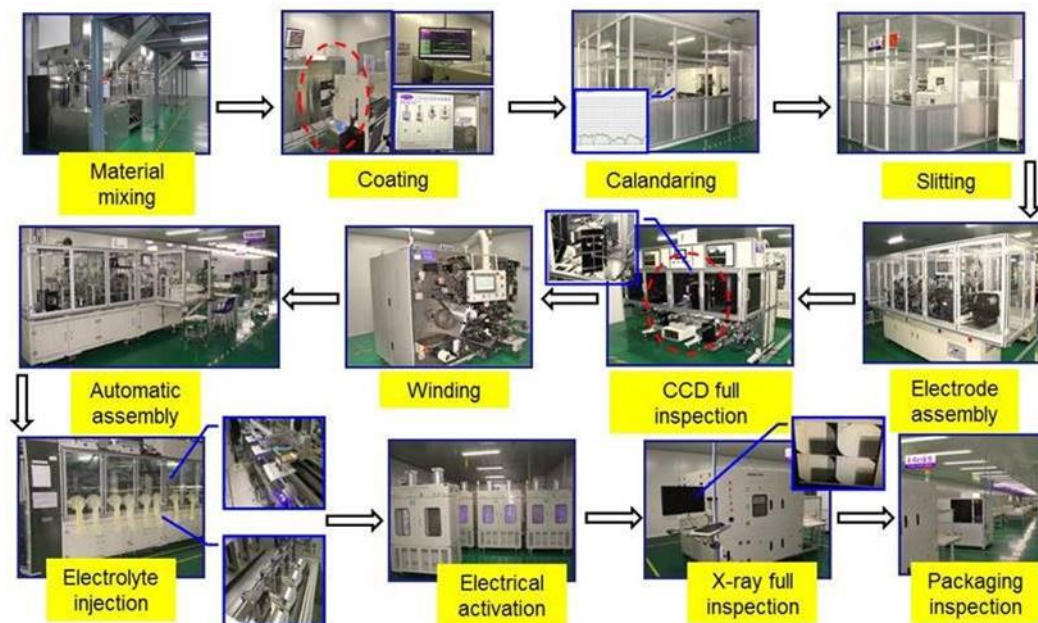


fig 3. Prozessschritte bei der Fertigung von Li-Polymer-Zellen. Bilder, Grafik: Jauch

## IV. Chemische Funktionsweise

Während des ersten Aufladens in der Aktivierung/Formation wird Lithium aus der Kathode über den Elektrolyten in die graphithaltige Anode eingelagert (interkaliert). Dieser Vorgang weitet das Schichtengitter aus, die Zelldicke nimmt zu.

Die Entladung kehrt den Vorgang um. Die Zelle verliert an Dicke. Als Leitsalz des organischen Elektrolytmediums wird vorwiegend LiPF<sub>6</sub> eingesetzt (Lithiumhexafluorophosphat).

Wichtig ist, die Aufweitung der Zelle über die Zyklen (bis zu 10%) beim Design des Batteriefachs unbedingt zu berücksichtigen.

Die nachfolgende Abbildung (fig 4) veranschaulicht den zellchemischen Mechanismus der Li-Polymer-Batterie-Technologie.



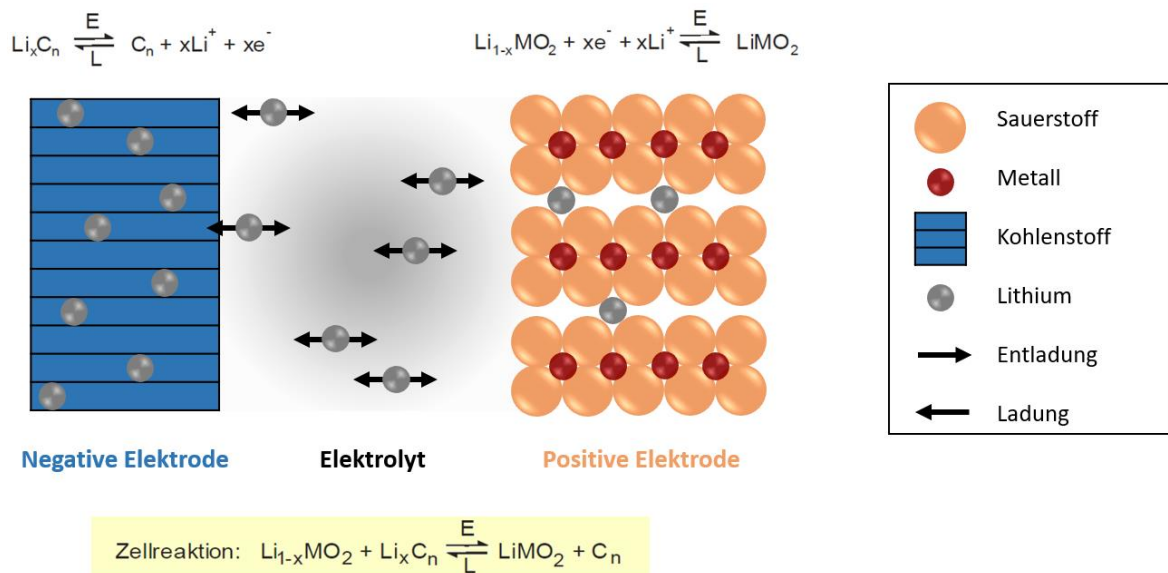


fig 4. Chemische Funktionsweise der Li-Polymer-Zelle. Grafik: Jauch

## V. Elektrische Daten

Einige Eckdaten von „Standard“ Li-Polymer-Zellen:

- Spannungslage: 3.6 bis 3.7V (mittlere Spannung bei 50%, Entladetiefe/0.2C).
- Ladung: Konstant I / Konstant U, maximale Ladespannung 4.2V, für spezielle Zellen bis 4.35 / 4.4V, max. Ladestrom 1C, bei größeren Zellen 0.5C.
- Entladung: min. Spannung 3.0V, Ströme bis 1C (tlw. 2C).
- Temperaturbereich: Laden 0°C bis +45°C, mit verringerten Strömen unterhalb 15°C. Entladen -20°C bis +60°C mit entsprechend verringerten Spannungslagen und Kapazitäten bei tiefen Temperaturen.
- Zyklen: Laden/Entladen bei 0.5C/0.5C nach 500 Zyklen 80% Restkapazität.

Weitere für den Markt relevante Parameter:

- Leistungsdichte: bis mehrere Kilowatt pro Kilogramm
- Energiedichte: bei etwa 200 Wh/kg
- Der Kapazitätsbereich reicht je nach Auslegung und gewünschter Leistung von wenigen mAhs bis über 10 Ah.

Die Flexibilität der Abmessungen, die hohe Energiedichte und die elektrischen Daten haben die Diversität der Zellauslegung vorangetrieben. Für den Markt sind insbesondere folgende Auslegungen interessant:

- Gel-Polymer-Zellen mit verbesserter Zyklen-Festigkeit
- Hochenergie-Zellen mit Ladespannungen von 4.35/4.4V
- Hochtemperatur-Zellen für – zeitlich begrenzten – Einsatz bis 80°C
- Tieftemperatur-Zellen mit Entlademöglichkeit bis zu -40°C
- Hochstrom-Zellen

## VI. Hinweise für einen sicheren Betrieb

Li-Polymer-Zellen sind ausschließlich mit Schutzelektronik zu betreiben. Bei Zellen ohne Schutzelektronik kann kein sicherer Betrieb gewährleistet werden. Die Schutzelektronik (PCM, Protection Circuit Module) unterbricht den Stromkreis bei kritischen Betriebsbedingungen außerhalb der spezifizierten Daten. Dazu zählen:

- Ladungsspannung oberhalb des max. Wertes
- zu tiefe Entladeschlussspannung unterhalb des min. Wertes
- zu hohe Ströme beim Entladen und Kurzschlüsse

Für einen sicheren Betrieb sind vier Safety Level zu beachten (fig 5). Das betrifft speziell das Überladen. Die folgende Grafik veranschaulicht die Level. Anwender müssen auf jeden Fall den ersten Safety Level einhalten. Dieser bezieht sich auf die maximale Ladespannung des Laders. Es dürfen nur Ladegeräte verwendet werden, die für diese Batterie-Chemie geeignet sind.

## Safety Levels of Cells/Packs charging/overcharging

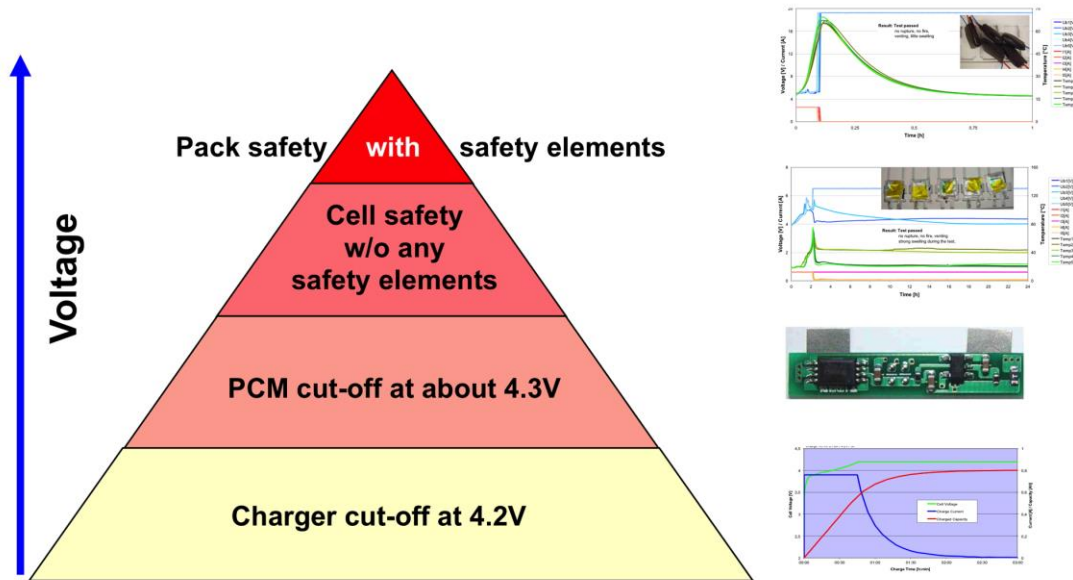


fig 5. Die Kapazität von LiPo-Batterien lässt sich flexibel steigern. Grafik: Jauch

Weitere Empfehlungen für den sicheren Betrieb und zur Vermeidung von Ausfällen:

- **Batteriecompartment:** Grundsätzlich sollten Softpacks nur als fest eingebaute Batterien eingesetzt werden (Customer non replaceable Batteries). Es besteht die Gefahr, dass das Foliengehäuse beim Ein- oder Ausbau beschädigt wird.

Das Batteriefach sollte hinreichend groß sein, um einen Einbau ohne mechanische Beschädigungen zu gewährleisten und Spielraum für das Aufblähen (Swelling) vorzusehen. Scharfe Kanten oder Grate sind zu vermeiden.

Metallische Teile sollten durch Isolationsfolien von der Batterie getrennt werden. Auch zwischen PCB und Komponenten sollten Isolationsfolien eingefügt werden.

Bei Anwendungen mit hohen mechanischen Belastungen (Rotation, Schock) sollte die Batterie fixiert werden. Es sollte verhindert werden, dass sich Bauteile des Packs verschieben können.

- **Handling:** Li-Polymer-Batterien sind empfindlich. Der Transport sollte in sicheren und stabilen Trays erfolgen. Hersteller liefern die Batterien in der Regel in geeigneten Trays an, die bis zur Bereitstellung an der Produktionslinie verwendet werden können.

Li-Polymer-Batterien dürfen nicht auf metallische Oberflächen abgelegt werden.

Sie dürfen beim Einbau nicht durch Werkzeuge beschädigt werden.

- **Sonstiges:** Zu vermeiden sind Kurzschlüsse, hohe Lagertemperaturen und Hot Spots in der Anwendung im Kontakt mit der Batterie.

Eine UL 1642-Zulassung sollte vorliegen.

Mechanisch beschädigte Batterien dürfen nicht verwendet werden.

Um den Alterungsprozess zu verzögern, empfiehlt sich eine Lagerung bei Raumtemperatur und bei mittlerer Ladung.

## VII. Anwendungen

Lithium-Polymer-Energiespeicher lassen sich in verschiedensten Größen, Bauformen und Leistungsstufen realisieren. Verfügbar sind zylindrische, prismatische, runde, gewinkelte, gebogene, pentagonale und ultradünne Bauformen (fig 6).



fig 6. LiPo-Zellen lassen sich in verschiedensten Bauformen fertigen. Bilder: Jauch

Die Flexibilität der Abmessungen, die hohe Energiedichte und elektrische Leistung haben die Diversität der Zellauslegung vorangetrieben. Vor allem die Möglichkeit, sehr flache Zellen verwenden zu können, verschafft Geräteherstellern eine nie dagewesene Gestaltungsfreiheit.

LiPo-Zellen eignen sich aufgrund ihrer Variabilität besonders für kleine, flache und mobile Geräte. Typische Anwendungen sind: Smartphones, Tablets, Notebooks.

In jüngster Zeit kamen zahllose Wireless-Anwendungen hinzu (fig 7): Smartwatches, Gadgets, Spielzeuge, Navigations- und Trackinggeräte, Audio- und VR-Systeme, Drohnen, Messgeräte, Barcode-

# Einführung in die Lithium-Polymer-Batterie-Technologie

Scanner sowie Devices für Smart Homes und für das Internet of Things. Eine Fülle von medizintechnischen Anwendungen kann noch erschlossen werden.

Leichte, elektrisch angetriebene Fahrzeuge kommen ebenfalls infrage: Hoverboards, E-Bikes, Solarfahrzeuge und sogar Pkw. Marktanalysten erwarten, dass die Nachfrage nach Li-Polymer-Batterien aus dem Automotive-Segment im Zuge der wachsenden Verbreitung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen enorm ansteigt.

Fazit: Alle elektronischen Geräte, die über längere Zeiträume häufig Strom benötigen, können mit einer Lithium-Polymer-Batterie betrieben werden. Wenn flexible Bauformen benötigt werden, stellen Lithium-Polymer-Batterien die ideale Lösung dar.



fig 7. Lithium-Polymer-Batterien eignen sich für den Einsatz in unterschiedlichsten Anwendungen. Bilder: Shutterstock | Dmitry Kalinovsky ; Fotolia | autofocus67 ; Shutterstock | pixino0 ; Shutterstock | Alexey Boldin ; Fotolia | Eisenhans

## VIII. Entwicklung und Design

Batterieanbieter wie Jauch unterstützen Ingenieure, Produktdesigner und Projektleiter darin, für jeden Anwendungsfall und jedes Device eine produktspezifische und optimale Lösung zu entwickeln. Ein Vorteil ist, dass sich LiPo-Batterien den individuellen Plänen leicht anpassen lassen. Sie lassen sich in kurzer Zeit designen und in der benötigten Stückzahl, auch in Kleinserien, produzieren.

Oft steht nur ein kleiner Raum für das Design-In einer Batterie zur Verfügung. Unter Umständen stehen die Maße des Batteriefachs fest, bevor der erste Kontakt mit dem Assemblierer gesucht wird. In diesem Moment erweist es sich als vorteilhaft, auf ein großes Repertoire zurückgreifen zu können. Jauch verfügt über zahlreiche Muster und erprobte Bauformen von Lithium-Polymer-Batterien. Dieses

Repertoire ermöglicht es, auch kurzfristig geeignete Zellen auszuwählen – sogar in einer weit vorangeschrittenen Projektphase.

Jauch entwickelt, fertigt und testet Batterie-Packs für alle Industriebereiche. Dabei kommt den Kunden die jahrzehntelange Erfahrung zugute. Seit 1974 beschäftigt sich Jauch mit der mobilen Stromversorgung.

Sicherheit und Funktion stehen an erster Stelle. Deshalb begleiten Experten von Jauch die Zellentwicklung für ganz bestimmte Anforderungen von Anfang an. So können sie sicherstellen, dass alle Parameter, internationalen Zertifizierungen, Zulassungs- und Transportvorschriften exakt erfüllt werden.

Die Zellfertigung findet in vollautomatisierten Produktionsanlagen statt. Alle Werke sind standardmäßig ISO9001- und ISO14001-zertifiziert, so dass die Einhaltung von internationalen Sicherheits- und Umweltvorgaben gewährleistet ist.

## Über den Autor:



Dr. Jürgen Heydecke ist ein ausgewiesener Spezialist seines Faches mit jahrzehntelanger nationaler und internationaler Erfahrung. Schon sein gesamtes Berufsleben beschäftigt er sich mit verschiedenen Batterie-Chemien und kennt die Anforderungen der Branche wie kaum ein anderer. 2009 gründete er zusammen mit seinem Partner die Batteries and Powersolutions GmbH (BAPS). Seit der Fusion mit der Jauch Quartz GmbH im Jahr 2018 fungiert Jürgen Heydecke als Technical Director der neu gegründeten Jauch Battery Solutions GmbH und leitet außerdem die Seminare der Jauch Battery Academy.

## Quellen:

- Archive Heydecke, Jauch Quartz GmbH, Jauch Battery Solutions GmbH
- Akku.net, Batterieforum-Deutschland, Computerwoche, Fraunhofer ISI, Global Market Insights, Grand View Research, heise.de, ITWissen.info, Marketwatch.com, Nationale Plattform Elektromobilität, ResearchAndMarkets.com, Sparkfun.com, Süddeutsche Zeitung, Techchannel.de, Transparency Market Research, TU München, Uni Siegen, Uni Ulm, Wikipedia.org

## Abbildungen:

fig 1. Schrittmacher für die massenhafte Anwendung der Li-Batterie-Technologie: Siemens S4 (links), Ericsson TS28s (rechts). Bilder: Werksfoto .....	4
fig 2. Konstruktionsprinzip von Li-Ionen-Zellen. Grafik: © Uni Siegen.....	5
fig 3. Prozessschritte bei der Fertigung von Li-Polymer-Zellen. Bilder, Grafik: Jauch .....	8
fig 4. Chemische Funktionsweise der Li-Polymer-Zelle. Grafik: Jauch .....	9
fig 5. Die Kapazität von LiPo-Batterien lässt sich flexibel steigern. Grafik: Jauch.....	11
fig 6. LiPo-Zellen lassen sich in verschiedensten Bauformen fertigen. Bilder: Jauch .....	12
fig 7. Lithium-Polymer-Batterien eignen sich für den Einsatz in unterschiedlichsten Anwendungen. Bilder: Shutterstock   Dmitry Kalinovsky ; Fotolia   autofocus67 ; Shutterstock   pixino0 ; Shutterstock   Alexey Boldin ; Fotolia   Eisenhans .....	13