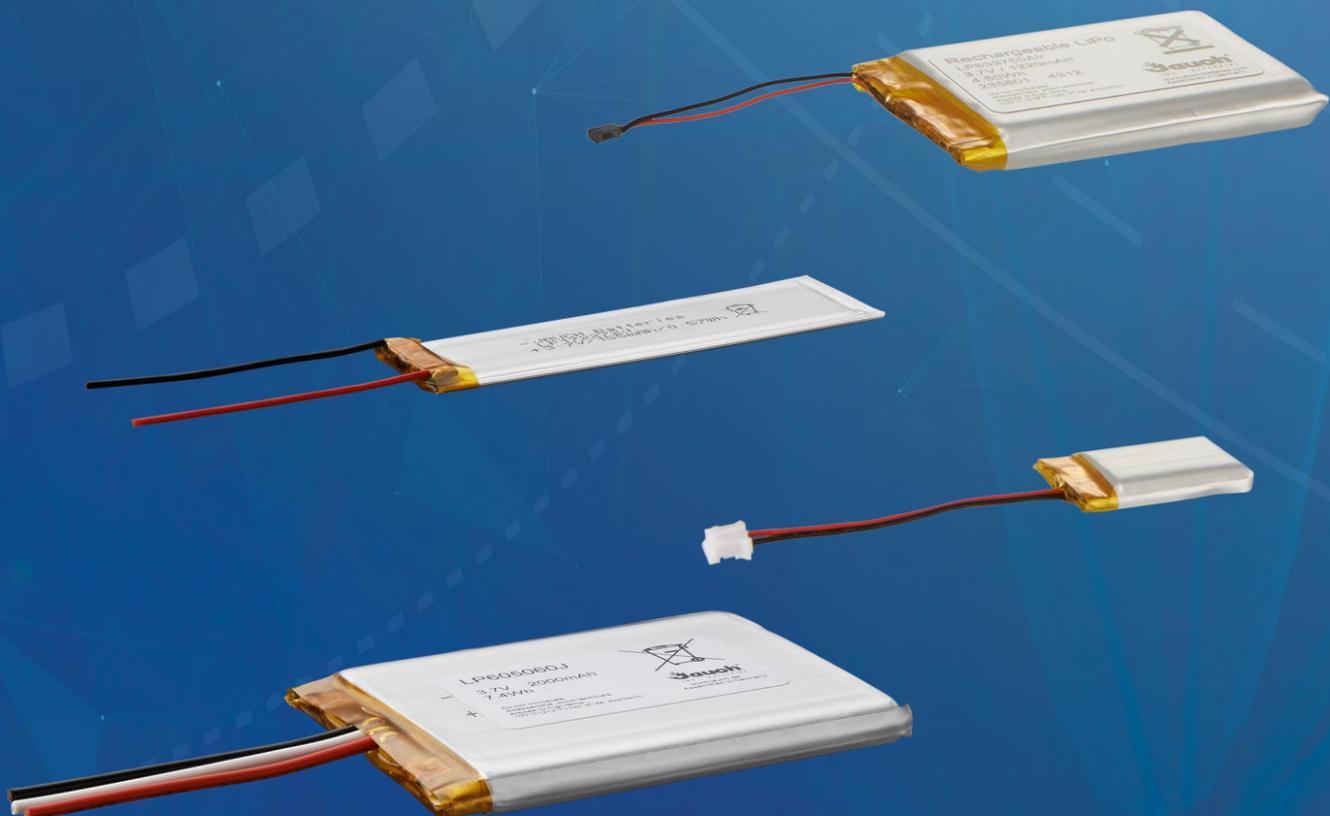


White Paper

Leitfaden für das Design-In von Lithium-Polymer-Batterien



Inhalt

Variables Produktdesign	3
I. Herausforderungen der Lithium-Ionen-/Polymer-Technologie	3
II. Anwendungsspezifische Daten	4
III. Konstruktion des Batterie-Compartment	7
IV. Handling von Lithium-Polymer-Batterien	8
V. Gesetze, Normen, Zertifizierungen	9
VI. Lagerung und Transport.....	11
VII. Fazit	11
VIII. Entwicklung und Design.....	12

© Jauch Quartz GmbH & Jauch Battery Solutions GmbH, In der Lache 24, 78056 Villingen-Schwenningen, Germany.
www.jauch.com, Februar 2019

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.

Variables Produktdesign

Eine genormte Batteriezelle passt in jedes kompatible Batteriefach. Dafür gibt es schließlich Normen und einheitliche Maße. Ganz anders sieht es bei Lithium-Polymer-Batterien aus. Sie lassen sich in nahezu jedes beliebige Gehäuse integrieren. Ihre Bauformen, Größen und Kapazitäten sind variabel. Ein Befreiungsschlag für das Produktdesign. Umso wichtiger ist es, die relevanten Parameter zu definieren. Der Lieferant der Li-Polymer-Batterien benötigt einige Daten für die richtige Auslegung der Batterie. Dazu zählt auch die Sicherheitselektronik (PCM, BMS). Der Einbau muss exakt geplant werden. Dieses White Paper dient Produktentwicklern in entscheidenden Projektphasen als Leitfaden.



fig. 1. Lithium-Polymer-Batterien sind in ihrer Größe und Bauform variabel und lassen sich damit in nahezu jedes beliebige Gehäuse integrieren. Bilder: Jauch

I. Herausforderungen der Lithium-Ionen-/Polymer-Technologie

Immer mehr Hersteller von batteriebetriebenen Produkten setzen auf Energiequellen mit Lithium-Ionen-/Polymer-Technologie. Die Vorteile sprechen für sich: Lithium weist eine höhere Energiedichte und Spannung auf als früher verwendete Materialien. Die Anwendung kann länger oder mit mehr Leistung betrieben werden. Auch die hohe Anzahl der Lade-/Entladezyklen sowie die lange Haltbarkeit sprechen für den Einsatz der Lithium-Technologie.

Leitfaden für das Design-In von Lithium-Polymer-Batterien

Besonders begehrt sind Li-Polymer-Batterien. Sie lassen sich extrem klein, flach, leicht und in nahezu beliebigen Bauformen konstruieren. Ihr Gehäuse besteht aus laminierten Alufolien. Das führt zu einer großen Design-Freiheit des Endproduktes. Ein kompetenter Anbieter wie Jauch kann schnell die entsprechende Lösung mit Bauform, Zellauslegung und -kapazität bereitstellen, wenn die nötigen Informationen vorliegen.

Der Einsatz der Lithium-Ionen-/Polymer-Technologie birgt aufgrund der hohen Energiedichte auch Risiken. Das betrifft vor allem die Fertigung und den Transport der Batterien bzw. des Endproduktes inklusive Batterien sowie den späteren Gebrauch.

Weitere Herausforderungen bestehen hinsichtlich

- Umwelt-, Temperatur-, Anwendungs- und Einsatzbedingungen
- elektrischer Parameter und Sicherheitskriterien
- Design-In, Gehäusekonstruktion
- Handling bei Transport und Fertigung

All diese Punkte spielen im Rahmen der Produktentwicklung eine Rolle. Hersteller von batteriebetriebenen Geräten und Assemblierer der Batterien sollten sich gemeinsam und frühzeitig mit den Rahmenbedingungen befassen. Wie sollten sie dabei vorgehen und welche Punkte müssen abgearbeitet werden?

II. Anwendungsspezifische Daten

Produktdesigner sollten zunächst ein detailliertes Pflichtenheft zum gewünschten Energiespeicher erstellen. Zu sieben wesentlichen Punkten müssen Daten, Maße, Parameter etc. erarbeitet werden.

Batterie-Entwickler/-Lieferanten benötigen diese Informationen idealerweise in einer frühen Projektphase. So lassen sich die Zellen korrekt auswählen und die Batterien exakt auslegen. Aber auch in fortgeschrittenen Projektphasen können erfahrene Assemblierer wie Jauch Unterstützung bei der Auswahl und Auslegung der Batterien anbieten.

Die sieben Punkte:

1. **Spannung:** Die Einzelzellenspannung bei Li-Polymer-Zellen ist standardmäßig im Mittel 3.6V, die Abschaltspannung 3.0V, die maximale Ladespannung 4.20V. Der Markt bietet auch Zellen mit Ladespannungen von 4.35V und 4.40V an. Die benötigte Spannung sollte definiert sein.

Wird eine höhere Spannung benötigt, kommt eine Reihenschaltung infrage. Die mittleren Spannungen sind dann nach dem Faktor $N \times 3.6V$ darstellbar. Diese Information ist erforderlich, um die Elektronik sicher auszulegen. Für höhere Kapazitäten können Zellen auch parallel verschaltet werden.

- 2. Ströme:** Für den Entladefall sind die mittleren kontinuierlichen Ströme anzugeben. Die maximalen Pulsströme und die Pulslängen müssen spezifiziert werden. Zu berücksichtigen sind die Einschaltströme und deren Längen bei Anwendungen.

Ideal wäre, Strombelastungsprofile der Anwendung auch unter Berücksichtigung von Temperaturen darzustellen. Das Einsatzgebiet und die dort herrschenden Temperatur- bzw. Umweltbedingungen spielen eine wichtige Rolle. Tiefe Temperaturen und höhere Ströme verringern die Spannungslage.

Der Zusammenhang zwischen Ladung und geforderten bzw. gewünschten Strömen muss berücksichtigt werden. Die Ladung erfolgt grundsätzlich nach dem technischen Prinzip „konstant Strom / konstant Spannung“.

- 3. Temperatur:** Die Temperaturverhältnisse im Einsatzbereich sowie beim Laden und Entladen müssen ermittelt werden. Das ist für die Auswahl der Zellen und für eventuelle Anpassungen erforderlich. Standardmäßig werden Li-Polymer-Batterien heute i.A. für folgende Temperaturbereiche spezifiziert:
 - Laden 0°C bis +45°C
 - Entladen -20°C bis +60°C

Tiefe und hohe Temperaturen beeinträchtigen die Kapazität. Auch das ist zu berücksichtigen.

Für ein erweitertes Temperaturspektrum stehen z.B. spezielle Hochtemperatur-Zellen zur Verfügung. Ebenso gibt es Zellen, die für tiefere Temperaturen oder für höhere Ströme entwickelt worden sind.

- 4. Maße:** Der Lieferant muss die maximalen Abmessungen des Einbauraumes kennen, um die Batterien richtig auslegen zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich Li-Ionen- und Li-Polymer-Zellen im Laufe der Zeit leicht aufblähen (Swelling). Sie können über die Lebenszeit um bis zu 10% dicker werden. Dies hat physikalische Gründe. [Darüber informiert ein weiteres White Paper von Jauch.](#)

Schon der Ladegrad (30% oder 60% bei Anlieferung und 100% bei Voll-Ladung) beeinflusst die Zelldicke und damit die Abmessungen des Einbauraumes. Bei der Spezifizierung der max. Dicke nach Zyklen ist immer vom Voll-Ladezustand auszugehen.

- 5. Kapazität:** Mit den Daten aus den Punkten 1-4 kann der Lieferant bereits eine Zelle definieren und damit die Kapazität der Batterie ermitteln.

Die Erfahrung zeigt, dass beim Design neuer Geräte vielfach die Stromquelle bzw. Batterie zunächst vernachlässigt wird. Dies führt unter Umständen dazu, dass die später angefragten Batterien nicht lieferbar oder nicht realisierbar sind.

Es empfiehlt sich, die Anforderungen hinsichtlich Spannung, Strom und Kapazität möglichst frühzeitig zu ermitteln bzw. zu spezifizieren. Beispielsweise hängt die Laufzeit des Geräts von den Temperaturbedingungen und der Strombelastung ab.

Der Batterie-Lieferant sollte deshalb bereits während der Design-In-Phase kontaktiert werden. Er kann dabei helfen, die passende Stromversorgung zu finden und mit einzuplanen.

- 6. Sicherheit:** Eine große Bedeutung haben die Parameter für die Auslegung der Schutzelektronik bzw. Sicherheitsschaltung (Battery Management System = BMS, Protection circuit module = PCM). Tiefentladung, Kurzschlüsse und zu hohe Ströme und Überladung müssen verhindert werden.

Der Lieferant benötigt in diesem Zusammenhang Angaben zum Stromprofil und zu den evtl. gewünschten Spannungen bei Abschaltung. Der Innenwiderstand der Batterie sollte bekannt sein.

Bei mehrzelligen Batterien empfiehlt sich ein BMS mit Fuel Gauging, Balancing sowie Kommunikation über SMBus und I²C. So entsteht eine „smart Battery“. Informationen hierzu bietet Jauch im direkten Gespräch.

Außerdem ist zu prüfen, welche Normen, Zulassungen und Zertifizierungen beachtet werden müssen (siehe unten).

- 7. Sonstige Angaben:** Für Softpacks mit Protection Circuit Module (PCM), Kabel und Stecker sollten die Parameter des PCM exakt definiert werden. Siehe hierzu Punkt 6. Alternativ kann ein standardmäßiges PCM gewählt werden.

Weiterhin ist anzugeben, ob ein Negative Temperature Coefficient (NTC) berücksichtigt werden soll. Standardmäßige Parameter für Widerstand und Temperatur sind: 10 kOhm 1%, B Wert 3435 1%. Es können auch Alternativen spezifiziert werden.

Zusätzlich sind Informationen zu den Kabeln (AWG, UL) und Steckern (Typ, Hersteller) erforderlich.

Für Packs mit Kunststoffgehäusen sollten die Abmessungen, Lage der Kontakte etc. gemeinsam mit Zeichnungen erarbeitet werden. Optimal ist, dreidimensionale CAD-Daten zu verwenden.

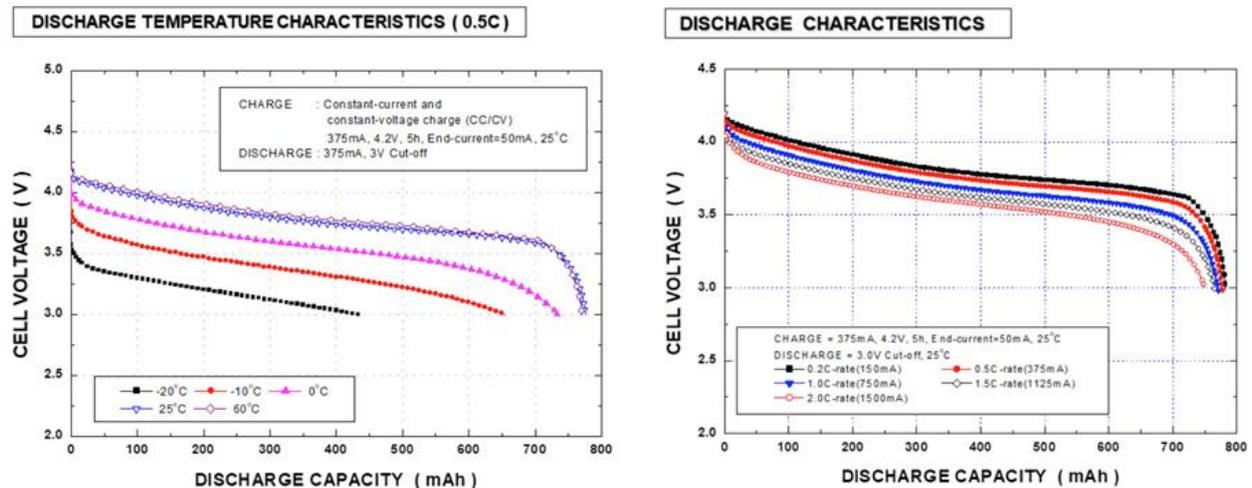


fig. 2. Relationen zwischen Kapazität, Entladung, Spannung und Temperaturbedingungen, die bei der Auswahl von Zellen und Auslegung von Batterien zu unterscheiden sind. Grafik: Jauch

III. Konstruktion des Batterie-Compartment

Beim Design des Gerätegehäuses und Batteriefachs sind ebenfalls sieben wesentliche Punkte zu beachten:

1. **Festeinbau:** 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.
2. **Toleranz:** Das Batteriefach sollte hinreichend groß sein, um einen Einbau ohne mechanische Belastungen oder Beschädigungen zu gewährleisten.
3. **Swelling:** Das erwähnte Aufblähen muss unbedingt einkalkuliert werden. Dafür ist ein entsprechender Spielraum im Batteriefach vorzusehen.
4. **Smoothness:** Scharfe Kanten oder Grate sind zu vermeiden bzw. zu glätten. Die Batteriehülle darf nicht verletzt werden.
5. **Isolation:** Metallische Teile sollten durch Isolationsfolien von der Batterie getrennt werden. Auch zwischen PCB und Geräte Komponenten sollten Isolationsfolien eingefügt werden.

- 6. Fixierung:** Bei Anwendungen mit hohen mechanischen Belastungen (Rotation, Schock) sollte die Batterie fixiert werden. Es sollte verhindert werden, dass sich Bauteile des Packs verschieben können.
- 7. Hot Spots:** Li-Polymer-Zellen sind bedingt durch ihr Baumaterial relativ temperaturempfindlich. Das Batterie-Compartment ist daher so zu konstruieren, dass in der Anwendung keine Hot Spots mit der Zelle in Kontakt geraten oder sich in ihrer Nähe befinden.

IV. Handling von Lithium-Polymer-Batterien

Vorsichtige Handhabung zählt zu den wichtigsten Punkten beim Transport und Einbau von Lithium-Polymer-Batterien.

Folgende Hinweise dienen dem Schutz der Batterien und Geräte, in die sie eingebaut werden:

1. Der Transport der Batterien sollte in sicheren und stabilen Trays erfolgen. Der Assemblierer stellt sie in der Regel im Rahmen der Belieferung zur Verfügung.
2. Auch in der Gerätefertigung bzw. bis zur Bereitstellung an der Produktionslinie sollten die Batterien in den Trays transportiert werden.
3. Li-Polymer-Batterien dürfen nicht auf metallischen Oberflächen abgelegt werden.
4. Zu vermeiden sind Kurzschlüsse und zu hohe Lagertemperaturen.
5. Beschädigungen durch Werkzeuge beim Einbau müssen vermieden werden.
6. Mechanisch beschädigte Batterien dürfen nicht verwendet werden.



fig. 3. Für einen sicheren Transport von Lithium-Polymer-Zellen werden geeignete Trays verwendet.
Bild: Jauch

V. Gesetze, Normen, Zertifizierungen

Für Batterien – insbesondere für die Li-Ionen-/Polymer-Batterien – gelten national, in Europa und weltweit viele Gesetze, Normen und Zertifizierungen. Sie sind zum Teil bereits beim Produktdesign und der Batterieauslegung zu beachten. Auch in der Fertigung, Logistik und Entsorgung können Vorschriften eine wichtige Rolle spielen. Dabei stehen der Schutz der Anwender und der Umwelt sowie das Recycling wertvoller Rohstoffe im Mittelpunkt.

Bereits in der Design-In-Phase des Endprodukts ist es wichtig, mit einem Assemblierer wie Jauch zusammenzuarbeiten. Er kennt die Risiken und Vorschriften und behält das Projekt im Blick. Dies bedeutet, den Hersteller nicht nur hinsichtlich der Sicherheit und Batterie-Performance, sondern auch hinsichtlich der Compliance zu beraten.

Die notwendigen, verpflichtenden oder optionalen Nachweise sollten in der Projektphase gemeinsam erarbeitet werden. Entsprechende Prozesse muss der Assemblierer bzw. Batterielieferant durchführen.

Wichtige Compliance-Themen sind:

1. **Transporttest:** Der UN38.3-Transporttest ist die weltweit verpflichtende Sicherheitsprüfung der Vereinten Nationen für Li-Ionen-Batterien. Nur mit einem entsprechenden Nachweis darf ein Produkt per Straße, Schiene, Schifffahrt oder Luft befördert werden. Bei diesem Test werden Gefährdungspotentiale, die von der Batterie ausgehen, überprüft.
2. **Transportvorschriften:** Weitere Standards wie ADR, IATA, RID, IMDG regeln den Versand mit verschiedenen Verkehrsträgern. Sie enthalten Vorschriften für den Transport und die Verpackung von Batterien.
3. **UL-Zertifizierung:** Es wird empfohlen Zellen einzusetzen, für die eine Prüfung gemäß UL1642 vorliegt oder durchgeführt wird. Die Prüfung muss nach den Vorgaben von Underwriter Laboratories (UL) durchgeführt werden. Für Batterie-Packs kann auch die UL 2054 gefordert sein.
4. **IEC-Zertifizierung:** Der IEC62133-Test ist ein Zertifizierungsverfahren der International Electronical Commission (IEC). Wie bei UL1642 werden hier über die Anforderungen des UN-Tests hinausgehende Prüfungen durchgeführt, die die Sicherheit der Batterie gewährleisten sollen.

Auf Basis von IEC-Standards kann auch ein CB-Verfahren durchgeführt und ein CB-Report erstellt werden. Das CB-Siegel erleichtert in zahlreichen Ländern den Marktzugang. Es kann direkt verwendet oder ohne weitere Tests in nationale Prüfzeichen umgeschrieben werden.

- 5. Explosionsschutz:** Kommt das Produkt in explosionsgefährdeten Bereichen zum Einsatz, muss das gesamte Gerät inklusive der Batterie die ATEX-Zertifizierung aufweisen. Dafür muss die Batterie bestimmten Anforderungen genügen.

Nicht jede Zelle ist geeignet, da jegliche Gefährdung ausgeschlossen sein muss. Auch hier hilft das Know-how eines erfahrenen Assemblierers wie Jauch, der bereits entsprechende Projekte betreut hat.

- 6. Branchenspezifische Tests:** Die Anwendung des Produkts in speziellen Branchen erfordert gegebenenfalls weitere Tests. So gibt z.B. die Medizintechnik verschiedene Zertifizierungen vor, um dafür zu sorgen, dass das Produkt im Einsatz am oder im Menschen zusätzliche Sicherheitsanforderungen erfüllt.
- 7. Weitere Tests und Zertifizierungen:** Darüber hinaus gibt es weitere optionale oder verpflichtende Tests und Zertifizierungen, die weltweit nicht einheitlich geregelt sind (z.B. nach KC, NEMA, SAE, IEEE, JIS). Der Assemblierer/Lieferant der Batterien sollte den Abnehmer darüber aufklären und kompetente Unterstützung bei der Einhaltung der Vorschriften bieten.
- 8. Gesetzliche Vorgaben:** Zudem sind zahlreiche gesetzliche Pflichten bezüglich Batterien zu erfüllen. Dazu zählen das deutsche Batteriegesetz (BattG), die Regeln der CE-Konformität sowie Vorgaben der RoHS- und REACH-Verordnungen. Der Lieferant muss nachweisen, dass er die relevanten Vorgaben erfüllt.
- 9. Qualitätsmanagement:** Jeder Batteriehersteller sollte dokumentieren, dass er nach einem Qualitätsmanagement-System (QMS) arbeitet. Relevante Normen: ISO 9001, ISO 14001. So wird sichergestellt, dass Muster und Serien von Batterien in gleichbleibend hoher Qualität gefertigt werden.

Der UN38.3-Transporttest fordert zwingend den QMS-Nachweis. Das betrifft Zellhersteller und Assemblierer.

- 10. Personalschulung:** Die verantwortlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lieferanten sollten gemäß IATA Dangerous Goods Regulations (IATA/ICAO – TI) unterwiesen sein und dies bestätigen können. Sie müssen wissen, wie Lithium-Batterien in oder mit Ausrüstung für den Transport vorschriftenkonform zu verpacken und zu kennzeichnen sind, welche Begleitpapiere erforderlich sind und wie diese korrekt zu erstellen sind.

Ebenso sollte eine regelmäßige Weiterqualifizierung nachgewiesen werden.

- 11. Entsorgung:** Der Lieferant muss evtl. die Rücknahme und fachgerechte Entsorgung der Batterien anbieten oder sicherstellen. Auch dieser Punkt sollte bereits bei der Produktentwicklung abgefragt werden.

- 12. Corporate Social Responsibility:** Vielfach erwarten öffentliche Auftraggeber oder Konzerne, dass Lieferanten sozial, gesundheitlich, finanziell und ökologisch verantwortungsbewusst handeln. Ebenso sollen sie relevante Sicherheits- und Datenschutz-Standards einhalten. Der Nachweis kann durch freiwillig erstellte Corporate Social Responsibility (CSR) Reports nach GRI-Standard oder Zertifizierungen durch neutrale Auditoren (z.B. Achilles) nachgewiesen werden.

VI. Lagerung und Transport

Ein weiteres Kriterium für ein erfolgreiches Projekt ist die Lagerung der Batterien bis zur Auslieferung des Geräts an den Endkunden. In diesem Zusammenhang sind diverse Rahmenbedingungen sowie die kontinuierliche Selbstentladung der Batterie zu beachten.

Sollen Geräte bzw. Li-Ionen-/Li-Polymer-Batterien per Luftfracht transportiert werden, erlaubt IATA nur Ladegrade von < 30%. Bei Seefracht können Batterien mit 50-60% Ladegrad versendet werden. Je nach Lagerzeit und Dauer des Transports erhält der Endkunde mehr oder weniger einsatzbereite Batterien. Glücklicherweise ist die Selbstentladung der wiederaufladbaren Lithium-Zellen sehr gering.

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

VII. Fazit

Als Anbieter von Batterielösungen mit jahrzehntelanger Erfahrung empfiehlt Jauch:

- Informieren Sie den Assemblierer so detailliert wie möglich über das geplante Gerät und die Anforderungen an den Energiespeicher. Diskutieren Sie frühzeitig mit den Fachleuten. So können diese die optimale Batterie auslegen und anbieten.
- Jauch ist gegebenenfalls bereit, ein Non Disclosure Agreement (NDA) zu zeichnen.
- Die genannten Vorsichtsmaßnahmen sollten nicht abschrecken. Sie dienen allein der Sicherheit und Zufriedenheit des Endkunden, Herstellers und Batterielieferanten.

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 Li-Polymer-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 vorgeschrittenen 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.

Das Qualitätsmanagement-System bei Jauch umfasst u.a.:

- Wareneingangs- und -ausgangsprüfung
- Prüfungen nach Kundenvorgabe
- Temperaturbereichsprüfungen
- Analyse von Bauteilen und Schaltungen
- Einsatz spezieller Messmittel für umfassende Untersuchungen
- mechanische, elektrische, klimatische Prüfungen, X-Ray-Analyse
- 8-D-Reports und detaillierte Analyseberichte in kurzer Zeit
- Bauteile-Qualifizierung
- Ermittlung der Zuverlässigkeitszahlen spezieller Bauteile
- interne Audits zu System-, Prozess- und Verfahrensabläufen
- Audits in den Produktionsstätten sowie Lieferanten-Audits

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. Lithium-Polymer-Batterien sind in ihrer Größe und Bauform variabel und lassen sich damit in nahezu jedes beliebige Gehäuse integrieren. Bilder: Jauch 3
- fig. 2. Relationen zwischen Kapazität, Entladung, Spannung und Temperaturbedingungen, die bei der Auswahl von Zellen und Auslegung von Batterien zu unterscheiden sind. Grafik: Jauch 7
- fig. 3. Für einen sicheren Transport von Lithium-Polymer-Zellen werden geeignete Trays verwendet. Bild: Jauch 8