Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik

Band: 100 (2009)

Heft: 3

Artikel: Lithiumionen-Batterien als Speicher für Elektrofahrzeuge : Teil 1 : technische Möglichkeiten heutiger Batterien

Autor: Vezzini, Andrea

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856361

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Lithiumionen-Batterien als Speicher für Elektrofahrzeuge

Teil 1: Technische Möglichkeiten heutiger Batterien

Im Moment vergeht kein Tag, an dem die Medien nicht von der geplanten Einführung eines weiteren Elektro- oder Hybridfahrzeugs berichten. Waren es vor 10 Jahren meist unbekannte Aussenseiter, überschlagen sich heute die renommierten Automobilhersteller bei der Ankündigung der (teil-)elektrifizierten Antriebsvarianten. Dabei fällt auf, dass praktisch alle Hersteller auf eine Speicherlösung mit Lithiumionen-Technologie setzen. Die Ernsthaftigkeit dieser Entwicklungsprojekte wird durch die strategischen Allianzen zwischen Automobil- und Batteriehersteller unterstrichen. Alles nur Werbung oder ein echter Trend?

Im Bereich der portablen Applikationen sind Batterien auf Lithiumionen-Basis schon heute die meistverwendete Speicherlösung. Insbesondere Laptops und Mobiltelefone

Andrea Vezzini

sind ohne diese Technologie heute nicht mehr denkbar. Über einen erstaunlich kurzen Zeitraum von weniger als 10 Jahren hat sich die Energiedichte der Batterien mehr als verdoppelt, und die Laufzeiten der Geräte haben sich trotz steigendem Verbrauch verlängert. Eine ähnlich schwungvolle Entwicklung zeichnet sich seit einiger Zeit auf dem Gebiet der Powertools (Handwerkzeuge) ab. Hier ist neben einem grossen Energieinhalt (Wie lange kann ich mein Gerät benutzen?) auch eine hohe Leistung (Wie stark ist mein Gerät?) der Akkupakete gefragt. Hier setzt sich eine Variante der Lithiumionen-Technologie, die sogenannte Lithium-Eisenphosphat-Batterie, immer mehr durch.

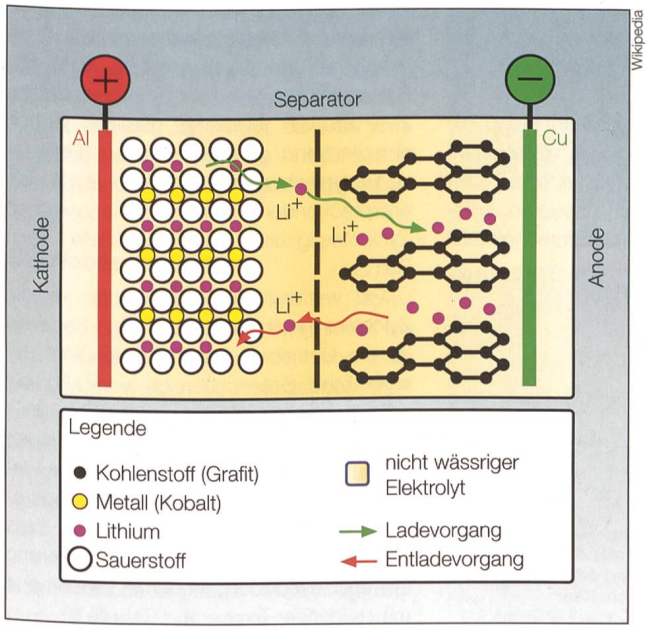


Bild 1 Aufbau eines Lithiumionen-Akkumulators.

Lassen sich diese Technologien nun bezüglich Energieinhalt und Leistungsfähigkeit skalieren und als Energiespeicher in Hybrid- und Elektrofahrzeugen einsetzen? Dazu müssen zuerst ein paar ganz ähnliche Fragen beantwortet werden:

- Welches sind die Grenzen der aktuellen und in naher Zukunft verfügbaren Technologien?
- Welches sind die speziellen Anforderungen der Hybrid- und Elektrofahrzeuge an die Speichertechnologie?
- Was sind die ökonomischen und ökologischen Randbedingungen beim Einsatz der Lithiumionen-Technologie in mobilen Anwendungen?

In diesem ersten Teil der zweiteiligen Artikelserie sollen vor allem die technischen Grundlagen der Lithiumionen-Batterie erläutert werden, während der zweite Teil sich mit den Fragen der korrekten Auslegung der Batteriesysteme in Elektro- und Hybridfahrzeugen beschäftigt (erscheint im Heft 6/2009).

Grundlagen der Lithiumionen-Technologie

Im Prinzip funktionieren Lithiumionen-Batterien wie galvanische Zellen – allerdings findet bei ihnen keine chemische Reaktion der aktiven Materialien statt. Stattdessen werden in der positiven wie auch der negativen Elektrode Lithiumionen eingelagert, die beim Laden von einer Elektrode zur anderen gepumpt werden. Sie werden quasi zwischen positivem und negativem Einlagematerial ausgetauscht.

Beim Ladevorgang wandern positiv geladene Lithiumionen von der Kathode durch den Elektrolyt hindurch zwischen die Grafitebenen (nC) der Anode, während der Ladestrom die Elektronen über den äusseren Stromkreis liefert; die Ionen bilden mit dem Kohlenstoff eine Interkalationsverbindung. Im Falle einer Batterie mit Lithium-Kobalt-Dioxid-Kathode ergibt sich folgende Reaktionsgleichung:

$$LiCoO_2 + C \rightarrow Li_{1-x}CoO_2 + Li_xC \qquad (1)$$

Beim Entladen wandern die Lithiumionen zurück in das Metalloxid der Kathode, die

articles spécialisés

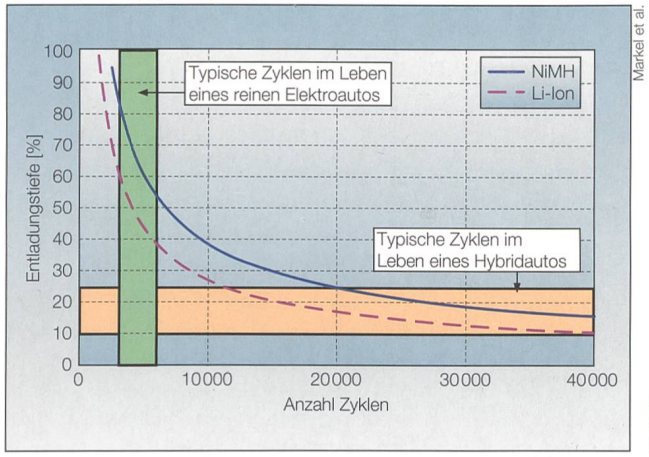


Bild 2 Zusammenhang zwischen Zyklenfestigkeit und Entladetiefe [1].

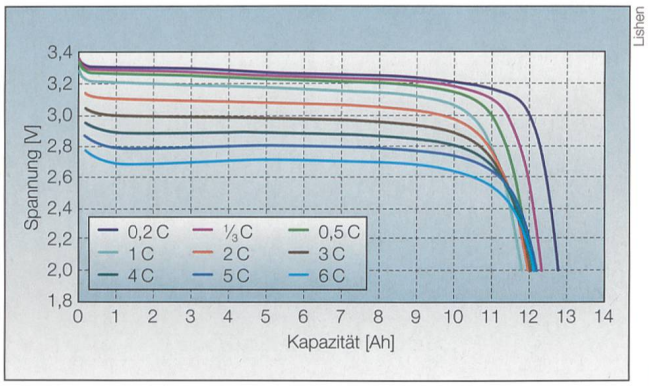


Bild 3 Entladekurven bei unterschiedlichen Entladeströmen für eine 11,5-Ah-Lithium-Eisenphosphat-Batterie [2].

Elektronen fliessen über den äusseren Stromkreis.

$$Li_{1-x}CoO_2 + Li_xC \rightarrow Li_{1-x+dx}CoO_2 + Li_{x-dx}C \quad (2)$$

Wesentlich für das Funktionieren der Interkalation ist die Ausbildung einer schützenden Deckschicht auf der negativen Elektrode, die für die kleinen Li^+-Ionen durchlässig, für Lösungsmittelmoleküle jedoch undurchlässig ist (SEI-Schicht). Ist die Deckschicht ungenügend ausgebildet, kommt es zur Interkalation von Li^+-Ionen mitsamt den Lösungsmittelmolekülen, wodurch die Grafitelektrode irreversibel zerstört wird.

Der grundlegende Aufbau einer Lithiumionen-Batterie ist in Bild 1 dargestellt. Das aktive Material der negativen Elektrode (Anode) einer gängigen Lithiumionen-Batterie besteht aus Grafit. Die positive Elektrode (Kathode) enthält meist Lithium-Metalloxide in Schichtstruktur wie $LiCoO_2$ (Lithium-Kobalt-Dioxid), $LiNiO_2$ oder dem Spinell $LiMn_2O_4$.

Je nach verwendetem Material ergeben sich unterschiedliche Energiedichten und Eigenschaften (Hochleistungs-/Hochenergiebatterie). Eine Zusammenstellung der üblicherweise verwendeten Materialien gibt Tabelle I.

Für die weitere Betrachtung sollen die herkömmlichen Kathodenkombinationen, die auf Kobalt, Mangan, Nickel oder Kombinationen dieser Elemente basieren, unter dem Begriff Lithiumionen zusammengefasst werden. Aufgrund ihrer relativen Wichtigkeit im zurzeit stattfinden Entwicklungsprozess von Lithiumionen-Speicher für die Automobilindustrie müssen die Batterien basierend auf Lithiumtitanat ($Li_4Ti_5O_{12}$) und Lithium-Eisenphosphat ($LiFePO_4$) gesondert betrachtet werden.

Material (Kathode)	*Mittlere Spannung*	*Energiedichte*
$LiCoO_2$	3,7 V	110–190 Wh/kg
$LiMnO_2$	4,0 V	110–120 Wh/kg
$LiFePO_4$	3,3 V	95–140 Wh/kg
$Li2FePO_4F$	3,6 V	70–105 Wh/kg
$LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O_2$	3,7 V	95–130 Wh/kg
$Li_4Ti_5O_{12}$	2,3 V	70– 80 Wh/kg

Tabelle I Übliche Kathodenmaterialien und deren Eigenschaften.
(Quelle: Leclanché SA)

Kennwerte der Lithiumionen-Technologie

Im Vergleich zu herkömmlichen Batteriesystemen ergibt sich für alle Kathodenmaterialien eine höhere spezifische Energiedichte und in den meisten Fällen auch eine höhere spezifische Leistungsdichte. Noch wichtiger ist aber die um ein Vielfaches höhere Zyklenfestigkeit. Hier verspricht man sich viel von der Titanattechnologie, wenngleich es sich hier noch um die unausgereifteste aller Lithiumtechnologien handelt.

Die zurzeit einzige kommerziell erhältliche Lithiumtitanat-Batterie ist die Super Charge Ion Battery, kurz SCiB, des Herstellers Toshiba. Toshiba verspricht dabei, dass sich die Batterie innert 5 min auf 90% ihrer Nennkapazität laden lässt. Allerdings weisen die SCiB eine relativ geringe Energiedichte von ca. 67 Wh/kg auf und sind damit nur geringfügig besser als NiMH-Batterien.

Die in Tabelle II dargestellten Eigenschaften sollen nun kritisch auf ihre Anwendung in Hybrid- und Elektrofahrzeugen untersucht werden. Im Vordergrund stehen Lebensdauer, Betriebsparameter und Kosten.

Lebensdauer

Gerade in Bezug auf die Zyklenfestigkeit und kalendarische Lebensdauer ergeben sich je nach Anwendung unterschiedliche Aussagen. Während die Batterie eines reinen Elektrofahrzeugs oder eines Plug-in-Hybrids im Schnitt stark entladen wird (Entladetiefen bis 100% möglich), wird der Batteriesatz eines reinen Hybridantriebs zwar um ein Vielfaches häufiger, jedoch entsprechend geringer entladen (Entladetiefen typisch zwischen 5 und 20%). Ein entsprechender Zusammenhang zwischen Zyklenfestigkeit und Entladetiefe zeigt Bild 2.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Zyklenfestigkeit von Lithiumionen-Batterien ist die Betriebstemperatur. Während der eigentliche Betriebsbereich von –30 bis +60 °C (in einigen Fällen sogar bis 80 °C) definiert ist und somit den Anforderungen im Automobilbereich entgegenkommt, reduziert sich bei höheren Betriebstemperaturen die Zyklenzahl. Hinzu kommt, dass sich die Kapazität schon bei der Lagerung irreversible reduziert, wiederum zunehmend mit steigender Temperatur (Tabelle III).

	Bleibatterie	NiCd	NiMH	Li-Ionen	Titanat	Phosphat
Energiedichte	40 Wh/kg	45–60 Wh/kg	80 Wh/kg	120–200 Wh/kg	70–80 Wh/kg	90–110 Wh/kg
Zyklen	200–300	1000–1500	300–500	500–1000	8000	2000
Temperaturbereich	–20–60 °C	–40–60 °C	–20–60 °C	–20–60 °C	–30–80 °C	–20–60 °C
Selbstentladung	5%/Monat	20%/Monat	30%/Monat	5%/Monat	2%/Monat	5%/Monat
C-Rate (Leistungsdichte)	sehr hoch	sehr hoch	hoch	tief	sehr hoch	sehr hoch
Nominale Spannung	2,0 V	1,2 V	1,2 V	3,6 V	2,3 V	3.3 V
Typ. Ladung	2,3–2,6 V; 20 h	C/10; 11 h	C/4; 5 h	4,2 V; 3 h	2,8 V; 1,5 h	4.0 V; 1,5 h
Endspannung	1,7–1,8 V	1,0 V	1,0 V	3,0 V	1,8 V	2,0 V

Tabelle II Übliche Kathodenmaterialien und deren Eigenschaften. (Quelle: Leclanché SA)

Und als dritter Faktor für die Lebensdauer ist neben Temperatur und Entladetiefe die beim Betrieb auftretenden Lade- und Entladeleistung zu nennen. So ergibt sich bei konstanter Ladung- und Entladung mit 3-fachem Nennstrom (3C-Belastung) eine Reduktion der Lebensdauer je nach Technologie von bis zu 40% im Vergleich zur 1C-Belastung. Dies ist insofern wichtig, da in einem reinen Elektrofahrzeug oftmals die reine Antriebsleistung die Nennleistung der Batterie um den Faktor 3 bis 4 überschreitet. Da diese Spitzenleistungen eher selten auftreten und die Belastung im normalen Stadtverkehr gar selten den Nennstrom erreicht, ist dieser Effekt häufig vernachlässigbar. Allerdings ist auch klar, dass sich wegen diesen relativ komplexen Abhängigkeiten ein Lebensdauermodell nur schwer ableiten lässt. Dies ist aber wichtig für die Entwicklung der Batteriesysteme für den Einsatz in einem Elektro- oder Hybridfahrzeug, da sich daraus wichtige kommerzielle Parameter wie die Frage der Garantieleistungen ableiten. Im Betrieb wird die Schätzung des «Gesundheitszustands» (SOH = State of Health) eine der zentralen Aufgaben des Batteriemanagements sein, um rechtzeitig auf Revisionen hinzuweisen. Ausserdem ist anzunehmen, dass der Käufer eines Gebrauchtwagens Auskunft über den Zustand der Batterie haben möchte.

Umgebungs-temperatur	40% Ladung	100% Ladung
0 °C	2% Verlust nach einem Jahr	6% Verlust nach einem Jahr
25 °C	4% Verlust nach einem Jahr	20% Verlust nach einem Jahr
40 °C	15% Verlust nach einem Jahr	35% Verlust nach einem Jahr
60 °C	25% Verlust nach einem Jahr	40% Verlust nach einem Jahr

Tabelle III Permanenter Kapazitätsverlust in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur und Ladezustand [4].

Betriebsparameter

Die wichtigsten Kennlinien im Betrieb sind die Lade- und Entladekennlinien bei unterschiedlichen Temperaturen und Strömen. Meist werden sie über der entnehmbaren Kapazität aufgetragen, sind also ein Mass für die entnehmbare Energiemenge. Wobei aufgrund der tieferen Spannungswerte bei stärkeren Belastungen die entnehmbare Energie noch einmal sinkt.

Während bei Lithiumionen-Batterien mit Kobaltkathode ein relativ linearer Zusammenhang zwischen entnommener Lademenge und der Spannungslage besteht, verschwindet dieser bei Zellen mit Lithium-Eisenphosphat oder Lithiumtitanat völlig. Ein Bestimmen des Ladezustands aufgrund der Spannungslage, wie es vielerorts vorgeschlagen wurde, reicht somit nicht aus, und ein Batteriemanagementsystem neuester Bauart verfügt deshalb über einen Ah-Zähler, der die entnommene Ladung über die Integration des Stroms bestimmt.

Allerdings sieht man in Bild 3 auch, dass die Spannung zwischen 10 und 90% der

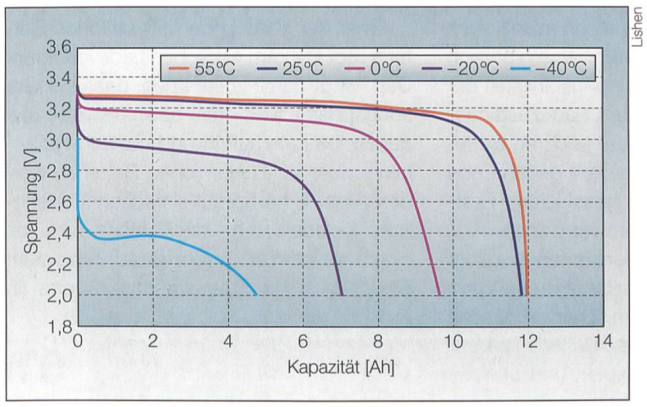


Bild 4 Entladekurven bei unterschiedlichen Temperaturen für eine 11,5-Ah-Lithium-Eisenphosphat-Batterie [2].

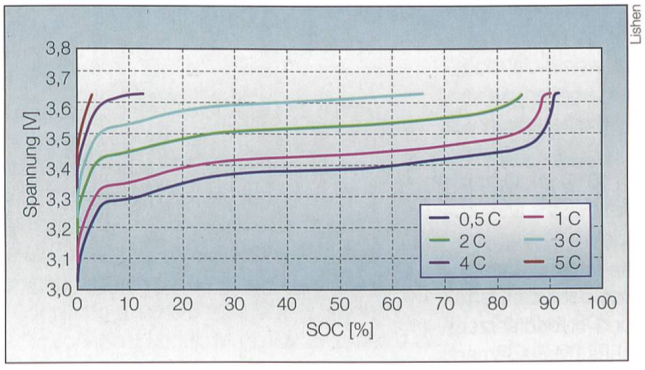


Bild 5 Ladekurven bei unterschiedlichen Ladeströmen für eine 11,5-Ah-Lithium-Eisenphosphat-Batterie [2].

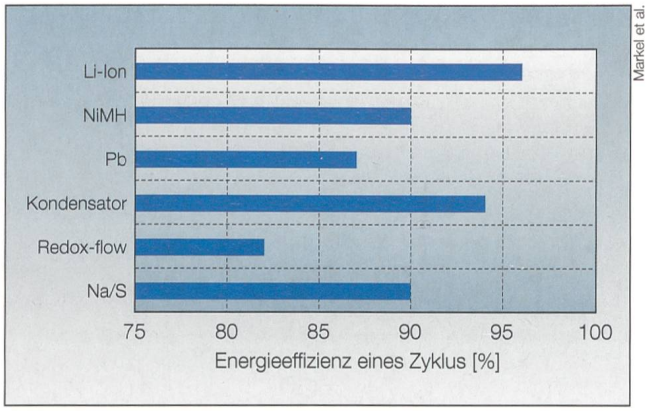


Bild 6 Lade-/Entladewirkungsgrad verschiedener Batteriesysteme [1].

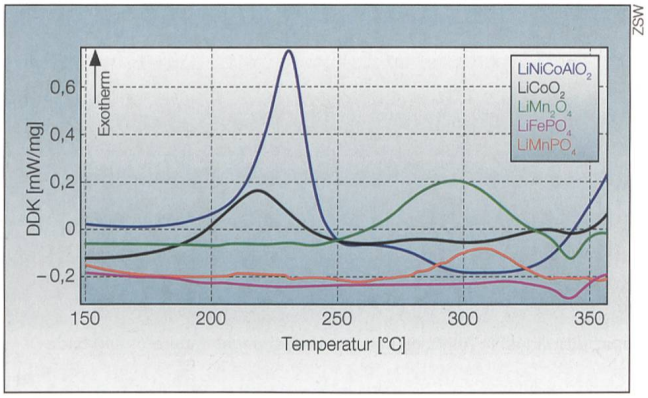


Bild 7 Dynamische Differenzkalorimetrie (DDK) einiger voll geladener Elektrodenmaterialien [3].

entnehmbaren Kapazität (in unserem Beispiel also zwischen 1,15 und 10,35 Ah) einen sehr kleinen Hub aufweist, selbst bei einer Variation des Entladestroms bis 2C. Dies bedeutet, dass die Energiequelle einen kleinen Innenwiderstand aufweist und sich dieser über den Ladezustand nicht stark verändert. Für den Anwender ergibt sich damit eine konstante Leistungsfähigkeit der Batterie über den ganzen Ladezustandsbereich. Das bei Blei- oder anderen Batterien bekannte «weich werden» gegen Ende der Ladung wird durch geschicktes Festlegen der Betriebsgrenzen vermieden.

Die entnehmbare Energiemenge hängt auch stark von der Betriebstemperatur ab. Da bei Kälte die chemischen Prozesse (auch die Zersetzung der Batterie bei der Alterung) langsamer ablaufen und die Viskosität der in Lithiumzellen verwendeten Elektrolyte stark zunimmt, erhöht sich bei der Lithiumionen-Batterie bei Kälte ebenfalls der Innenwiderstand, womit die mögliche Leistung sinkt. Zudem können die verwendeten Elektrolyte bei Temperaturen um −25 °C einfrieren. Manche Hersteller geben den Arbeitsbereich mit 0–40 °C an. Optimal sind 18–25 °C. Es gibt aber Lithiumionen-Batterien mit speziellen Elektrolyten, die bis −54 °C eingesetzt werden können.

Dieser Effekt führt dazu, dass die Batteriesysteme in Elektro- und Hybridfahrzeugen über ein thermisches Management verfügen müssen, das vermeidet, dass die Batterien zu starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind. Bei angeschlossenem Ladegerät wird zum Beispiel Netzenergie aufgewendet, um die Batterie in einer kalten Garage warm zu halten.

Einer der Vorteile der Lithiumionen-Batterie liegt in ihrem einfachen Ladeverfahren. Das hängt damit zusammen, dass die Gasungsphase fehlt, die beispielsweise bei der Bleibatterie auftritt und nur schwer beherrschbar ist. Lithiumionen-Batterien werden deshalb häufig mit einfachen IU-Kennlinien geladen, d.h., die Batterie wird mit einem konstanten Strom geladen bis zum Erreichen eines Spannungsgrenzwerts (in Bild 5 ist dies 3,65 V). Anschliessend wird bei konstanter Spannung die Restladung eingebracht, bis der Ladestrom beispielsweise auf C20 gesunken ist. Interessant ist, dass selbst bei Ladeströmen von 2C rund 85% der gesamten Lademenge eingebracht werden können. Das heisst, dass eine solche Batterie in rund einer halben Stunde fast vollständig aufgeladen werden kann. Diesen Umstand macht sich zum Beispiel Mitsubishi im Elektrofahrzeug iMiEV zunutze, wobei aufgrund der hohen Ladeleistung dies nur mithilfe eines externen Ladegeräts möglich ist.

Zur Möglichkeit der Schnellladung kommt ein hoher Lade-/Entladewirkungsgrad hinzu, dargestellt in Bild 6. Die schlechteren Werte bei der Bleibatterie erklären sich durch die Gasungsphase, während NiMH aufgrund des etwas höheren Innenwiderstands und dem schlechter definierten Abschaltkriterium (Spannungshügel) einen schlechteren Wirkungsgrad aufweist. Ebenso erwähnenswert ist an dieser Stelle, dass Lithiumionen-Batterien weder einen Memory- noch einen Lazyeffekt (Batterieträgheitseffekt) aufweisen.

Sicherheit

Im Zusammenhang mit Lithiumbatterien wird häufig die Frage nach der Sicherheit gestellt. Laptops, die spontan in Flammen aufgehen, haben dem Vertrauen in diese Technologie zugesetzt. Es gibt verschiedene Ursachen für das Versagen einer Lithiumionen-Batterie, und ebenso unterschiedlich sind die Folgen. Leider werden auch häufig Lithiummetall und Lithiumionen verwechselt: Während Ersteres heftig mit Wasser reagiert und gerne im Chemieunterricht vorgeführt wird, sind die nicht metallenen Lithiumionen sicherer, vorausgesetzt gewisse Vorsichtsmassnahmen werden getroffen.

Dazu gehört, dass sowohl Überladen als auch zu tiefes Entladen vermieden werden, da es in beiden Fällen zu Lithiummetall-Ab-

Résumé

Les batteries au lithium-ion comme accumulateurs pour véhicules électriques

Partie 1: Possibilités techniques des batteries actuelles. Actuellement, il ne passe guère de jour sans que les médias parlent du lancement projeté d'un nouveau véhicule électrique ou hybride. Tandis qu'il y a dix ans ceci était surtout réservé à des firmes plutôt inconnues, les constructeurs automobiles de renom ne cessent d'annoncer des variantes de traction au moins partiellement électrifiées. On remarque que pratiquement tous les constructeurs misent sur une solution d'accumulateurs basée sur la technologie au lithium-ion. Les alliances stratégiques conclues entre les constructeurs automobiles et de batteries viennent confirmer le sérieux de ces projets de développement. Rien que de la publicité ou tendance réelle?

lagerungen an den Elektrodenoberflächen kommt (Dendritenbildung). Durch Dendritenwachstum durch den Separator kann es zum Kurzschluss und dadurch zum Entzünden des Lithiums kommen. Ein geeignetes Batteriemanagementsystem wird diese Grenzen sorgfältig überwachen und gegebenenfalls den Lastkreis abtrennen.

Bei den Laptops, die in Flammen aufgingen, kam es aufgrund metallischer Verunreinigungen in der Produktion zu internen Kurzschlüssen. Dabei entstanden hohe Temperaturen, die einen thermischen Runaway auslösten, d.h., die Zelle erzeugte immer mehr frei werdende Energie. Die Flammen sind allerdings meist auf den leicht brennbaren Elektrolyten zurückzuführen (Lithiumhexafluorophosphat). Mithilfe der dynamischen Differenzkalorimetrie (DDK, engl. Differential Scanning Calorimetry: DSC), einem Verfahren zur Messung von abgegebener/aufgenommener Wärmemenge, kann man das Gefahrenpotenzial der verschiedenen Lithiumionen-Technologien abschätzen (Bild 7).

Die meisten Kathodenmaterialien zersetzen sich bei Temperaturen über 200 °C. Dabei reagiert NCA (Nickel-Kobalt-Aluminium) am heftigsten, gefolgt von Kobaltoxid und Mangan. Die Phosphatlösungen zeigen dabei die grösste Stabilität. Die Anode entwickelt auch Wärme und ist am thermischen Weglaufen beteiligt. Dies hängt mit dem Anteil an Grafit in der Anode zusammen und ist bei besonders grossen Zellen nicht vernachlässigbar. Hier haben Titanatlösungen einen Vorteil.

Die Sicherheit bei Lithiumionen-Batterien hängt von Designkriterien und der Produktionsqualität ab. Externe Massnahmen (Batteriemanagementsysteme) können eine schlechte Batterie nicht sicherer machen, verhindern aber, dass eine qualitativ gute Batterie durch den Anwender beschädigt wird.

Zusammenfassung

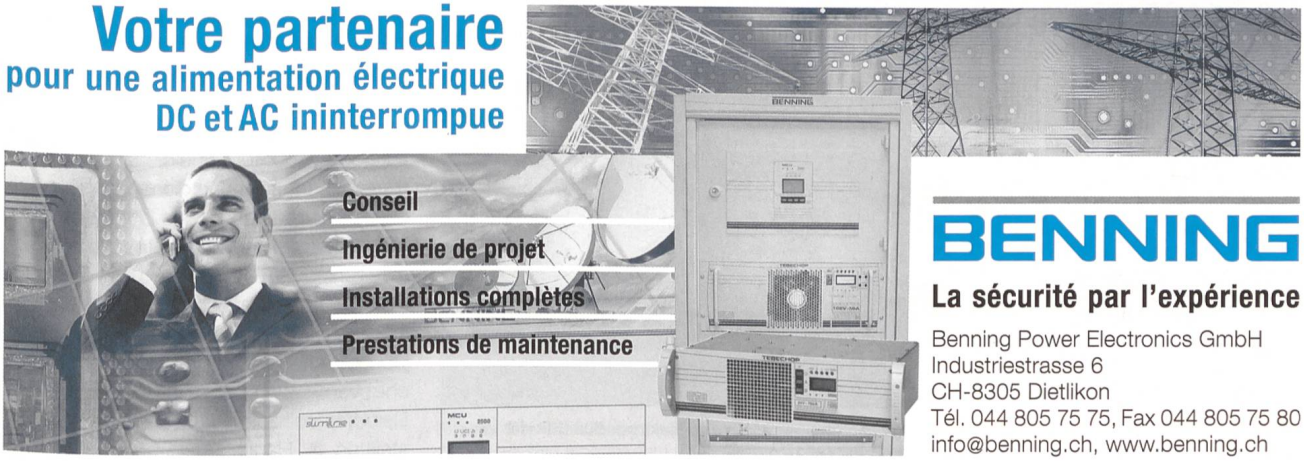
Lithiumionen-Batterien, insbesondere Zellen mit Eisenphosphat-Kathoden oder Lithiumtitanat-Anoden, bringen gute Eigenschaften mit sich, um die Ansprüche an Lebensdauer und Leistungsfähigkeit von Batteriesystemen für Elektro- und Hybridfahrzeuge zu erfüllen. Voraussetzung ist die richtige Dimensionierung des Batteriepacks unter Berücksichtigung der Randbedingungen wie Entladetiefe, maximale Entladeleistung und Betriebstemperaturen. Das resultierende Batteriesystem beinhaltet zudem nicht nur die Zelle als eigentlichen Energiespeicher, sondern verfügt auch über ein thermisches und elektrisches Management. So muss die Batterie sowohl gekühlt als auch geheizt werden, unter Umständen auch am Netz während des Ladevorgangs. Die Erfassung der Betriebsparameter Spannung, Strom und Temperatur und daraus abgeleitet die Berechnung von Zustandsgrössen wie Ladezustand, Restreichweite und Batteriegesundheit stellen zurzeit die grösste technische Herausforderung für die erfolgreiche Kommerzialisierung solcher Systeme dar.

Der zweite Teil dieses Artikels, der im Bulletin SEV/VSE Nr. 6/2009 erscheinen wird, beleuchtet die Auslegung der Batteriesysteme für Elektro- und Hybridfahrzeuge und versucht, die Kosten abzuschätzen. Zudem geht er verstärkt auf das Batteriemanagementsystem ein.

Referenzen

[1] T. Markel, A. Simpson: Plug-in Hybrid Electric Vehicle Energy Storage System Design; 2006.
[2] Lishen Power Battery Introduction; 2009.
[3] ZSW: Lithium mobile power 2007.
[4] Isidor Buchmann: batteryuniversity.com.

Angaben zum Autor

Andrea Vezzini, Dr. sc. Techn., ist Dozent für Industrieelektronik an der Berner Fachhochschule Technik und Informatik. Er forscht seit über 10 Jahren auf dem Gebiet der Integration von Lithiumionen-Batterien in mobile Anwendungen.
Berner Fachhochschule, 2501 Biel,
andrea.vezzini@bfh.ch

articles spécialisés