

Sonderdruck aus



INTERNATIONALE FACHZEITSCHRIFT
FÜR SCHIENENVERKEHR & TECHNIK

Heft 7 · Juli 2008

DVW Media Group · Hamburg

Holger Schuh

Moderne Antriebsbatteriesysteme für Schienenverkehrs-Hybridfahrzeuge



Saft Batterien GmbH
Löffelholzstraße 20
D-90441 Nürnberg
Tel. 0911/94174-0
Fax 0911/426144

www.saftbatteries.de

Moderne Antriebsbatteriesysteme für Schienenverkehrs-Hybridfahrzeuge

Erst jüngst sind leistungsfähige Batterien für Fahrzeugantriebe entwickelt worden, die vielen Ansprüchen an umweltfreundliche Antriebskonzepte genügen.

Holger Schuh

Trotz intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konnten Elektro- und Hybridantriebe mit Blei-Säure- bzw. Nickel-Cadmium-Batterien (Ni-Cd) in den 1990er Jahren nicht zur Serienreife gebracht werden. Heute sind Energiespeichersysteme auf der Basis von Nickel-Metallhydrid (Ni-MH) bzw. Lithium-Ionen (Li-Ionen) verfügbar, sowohl für Straßen- als auch für Schienenfahrzeuge.

Die Energiespeicherung ist die Schlüsseltechnologie bei der Entwicklung elektrischer Fahrzeuge. Insbesondere im Bereich von Hybridfahrzeugen werden weit reichende Marktentwicklungen in naher Zukunft erwartet. Dabei unterscheiden sich Zweck und Nutzung dieser Fahrzeuge erheblich, so dass es verschiedene Modelle mit seriellem oder parallelem Antrieb geben wird.

Hybridfahrzeuge und ihr Energie- und Leistungsbedarf Elektro- und Hybridfahrzeuge

In Elektrofahrzeugen ist die Batterie die einzige Energiequelle, sie treibt Elektromotoren über geeignete Energie-Schnittstellen an. Die wichtigste Eigenschaft der Batterie ist daher die Möglichkeit, große Energiemengen zu speichern, um eine ausreichend große Reichweite zu erzielen.

In Hybrid-Elektrofahrzeugen werden Elektromotoren in Kombination mit einem Verbrennungsmotor eingesetzt. Üblicherweise unterscheidet man bei der Hybridfahrzeugtechnologie zwischen „seriell-hybrid“ und „parallel-hybrid“.

Beim seriellen Hybridantrieb wird die vom Verbrennungsmotor erzeugte Energie in Elektrizität umgewandelt, mit der dann das Fahrzeug angetrieben wird. Beim parallelen Hybridantrieb wird das Fahrzeug primär vom Verbrennungsmotor angetrieben. Ein oder mehrere Elektromotoren werden zusätzlich in Phasen genutzt, in denen der Verbrennungsmotor einen schlechten Wirkungsgrad hat. Der

Ladezustand der Batterie wird dabei auf einem konstanten Niveau gehalten, wofür vom Verbrennungsmotor erzeugte Energie sowie kinetische Energie, welche bei Verlangsamung und beim Bremsen freigesetzt wird, genutzt wird.

Tatsächlich gibt es ein Kontinuum von Varianten dieser Konzepte, abhängig vom Fahrzeugtyp und den gesetzten Zielen. Anstelle eines Verbrennungsmotors ist auch eine zweite elektrische Energiequelle möglich, zum Beispiel eine Brennstoffzelle oder, in öffentlichen Verkehrsmitteln, eine oben liegende Fahrleitung.

Diese von Modell zu Modell sehr unterschiedlichen Bedürfnisse bezüglich elektrischer Energie und Leistung müssen selbstverständlich bei der Auswahl der Batterie und der Batteriegröße berücksichtigt werden. Jedes der wichtigen Batteriesysteme (Blei-Säure, Ni-MH, Li-Ionen) kann dabei eine Lösung sein. Als befriedigend funktionierende Lösung für kommerziell vermarktete Fahrzeuge werden momentan Blei-Säure-Batterien für Mikro-Hybridfahrzeuge und Ni-MH-Batterien für Fahrzeuge mit Mild- und Vollhybridantrieb erachtet. Als beste Lösung für Hybridfahrzeuge der Zukunft gilt die Li-Ionen-Technologie, sobald sie vollständig optimiert ist.

Große Hybridfahrzeuge

Seit vielen Jahren gelten der öffentliche Personennahverkehr und der städtische Lieferverkehr als attraktives Anwendungsgebiet für Hybridantriebe. Dabei können zwei Energiearten kombiniert werden, z. B. Wärmeenergie und elektrische Energie in Hybridbussen, oder einfach zwei verschiedene elektrische Energiequellen genutzt werden wie bei Oberleitungsbussen oder Straßenbahnen. Typischerweise wird die Fahrt häufig unterbrochen, was die regenerative Nutzung der Bremsenergie und die Leistungsunterstützung beim Beschleunigen in den Mittelpunkt stellt.

Bei Straßenbahnen bzw. Oberleitungsbussen ist es durch den Batteriebetrieb möglich, streckenweise unabhängig von den Fahrleitungen zu sein, z. B. in historischen Stadtzentren, wodurch die Infrastruktur flexibler und einfacher gestaltet werden kann. Die Batterien müssen dabei riesige Energiemengen speichern können, über lange tägliche Betriebszeiträume betrieben werden können und die Lebensdauer muss der der Fahrzeuge entsprechen.

Es wurde mit vielen Batteriesystemen experimentiert, sowohl Blei-Säure als auch Ni-Cd oder Ni-MH. Die praktische Erfahrung hat gezeigt, dass Ni-MH trotz der höheren Kosten dank hoher Lebensdauer und Zu-

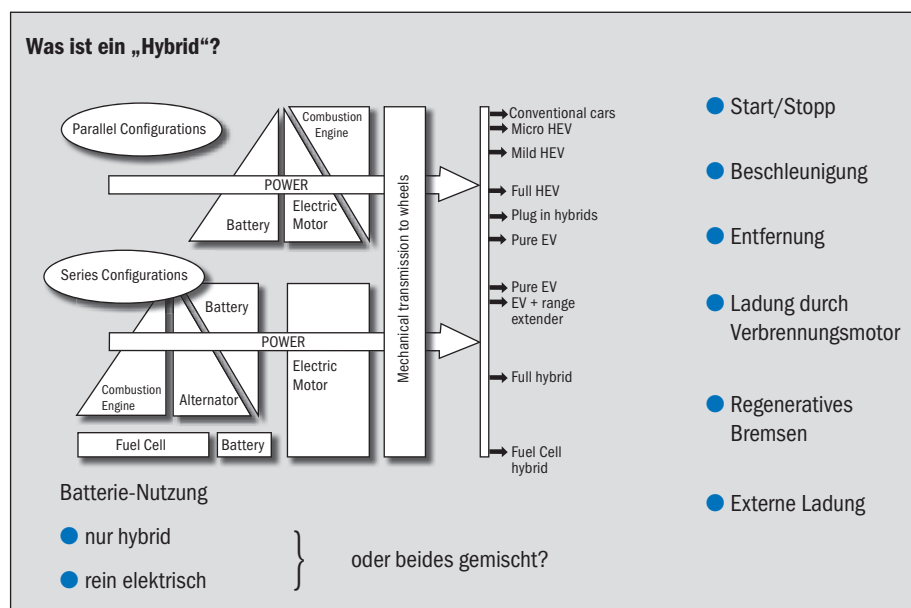


Abb. 1: Definition möglicher Hybridantriebe

*) Der Fachbeitrag basiert auf einem Vortrag, der vom Autor auf der Internationalen Schienenfahrzeugtagung Rad-Schiene 2008 in Dresden gehalten wurde.

verlässigkeit am geeignetsten ist. Die Leistungsanforderungen entsprechen prinzipiell denen für andere Hybridantriebe, wobei mehr Energie und Leistung erforderlich sind.

Zusammenfassung der Anforderungen

Art und Größe des Hybridfahrzeugs bestimmen die Eigenschaften des passenden Batterietyps und der jeweiligen Technologie. Dabei sind folgende Parameter zu beachten:

- erforderliche Energie für den reinen Elektrobetrieb, abhängig von Fahrzeuggewicht und Reichweite,
- erforderliche Leistung beim Start und beim Beschleunigen,
- Leistung, die beim regenerativen Bremsen genutzt werden soll,
- Häufigkeit von Tiefentladungen,
- Häufigkeit und Entladetiefe von leichten Entladungen,
- Ladezustand, in dem leichte Entladungen durchgeführt werden müssen und
- Systemspannung.

Batterietechnologien für Antriebssysteme Blei-Säure

Durch die relativ geringe Energiedichte von Blei-Säure-Batterien ist die Reichweite von Fahrzeugen im reinen Elektrobetrieb (Elektrofahrzeuge, Plug-In-Hybridfahrzeuge, Hybrid-Dualsysteme und Oberleitungsbusse) erheblich eingeschränkt.

In Hybrid-Elektrofahrzeugen werden Batterien häufig im teilentladenen Zustand (PSOC – partial-state-of-charge) genutzt. Beim Betrieb von Hybrid-Elektrofahrzeugen sind die Lade- und Entladeraten sehr hoch. Dabei entstehen Spannungsabfälle über Breite und Höhe der Platten, so dass das aktive Material ungleichmäßig beansprucht wird. An wenig genutztem Material entstehen große und harte Sulfatkristalle, primär an der negativen Elektrode, die letztendlich zum Ausfall der Batterie führen.

VRLA-Batterien zeigen in dieser Hinsicht ein etwas besseres Verhalten als belüftete Batterien, da die Sauerstoffrekombination an der negativen Elektrode die Ungleichheit der Platten verhindert, die durch ungleiche Ladungseffizienz von positiver und negativer Platte entsteht. Allerdings sind die Probleme der heutigen Blei-Säure-Batterien im PSOC-Betrieb ein Haupthindernis bei der breiten Einführung von Mild-Hybridfahrzeugen.

Blei-Säure-Batterien werden daher eher für Mikro-Hybridfahrzeuge gewählt, wo sie für Stop-und-Start und beim Kaltstart eingesetzt werden, wo häufige, aber kurze Hochleistungszyklen bei meist hohen Temperaturen (Motorraum) nötig sind. AGM-

Nickel-Cadmium

- gute Zyklenlebensdauer
> 3000 volle Zyklen (80 % DOD)
> 50 000 Zyklen bei 10% DOD
→ bei 1 C Entladung
→ und C/2 Ladung
- sehr robust
unempfindlich gegenüber falscher Handhabung und extremen Temperaturen
- sehr gute Leistungsdichte, auch bei niedrigem Ladezustand
- Industriebatterien sind nur wartungsarm

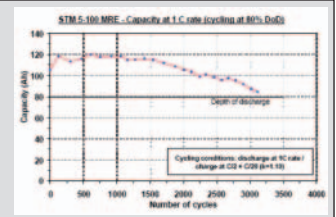


Abb. 2: Eigenschaften von Nickel-Cadmium-Batterien

VRLA-Batterien eignen sich gut für diese Anwendung und erreichen eine Lebensdauer von drei bis fünf Jahren, die durch Korrosion des positiven Gitters aufgrund der hohen Temperaturen und Sulfatablagerungen an der negativen Platte begrenzt wird. Wenn höhere Leistung und längere Lebensdauer erforderlich sind, sind Zellen mit spiralförmiger Wicklung und dünnen Elektroden geeigneter.

Die größte Herausforderung stellen Mikro-Hybridfahrzeuge mit regenerativer Bremsfunktion dar. Die Batterien müssen beim Bremsen große regenerative Energiemengen aufnehmen, wodurch eine Überladung möglich ist, die zur Austrocknung der Batterie führt. Abhilfe bietet die Verbindung der Batterie mit Superkondensatoren.

Nickel-Cadmium

In den 1980er und 1990er Jahren entwickelte die Firma Saft die ersten Ni-Cd-Batterien für moderne Elektrofahrzeuge. Mit einer spezifischen Energie von bis zu 55 Wh/kg verbindet diese Batterie eine hervorragende Lebensdauer (3000 Lade-/Ent-

ladezyklen bei 80% Entladetiefe) mit hoher und stabiler spezifischer Leistung. Die Entladung erfolgt typischerweise bei einer permanenten Entladerate von 1 C, mit Spitzen von 2 C. So ist in kleinen Elektrofahrzeugen für gewöhnlich eine Reichweite von 80 km möglich.

Es existieren auch Ni-Cd-Batterien in Hochleistungsbauweise, die für den Einsatz in Hybrid-Elektrofahrzeugen geeignet sind. Im Gegensatz zu Blei-Säure-Batterien ist der PSOC-Betrieb für Ni-Cd-Batterien kein Problem. Batteriekonzepte mit gesinterten positiven Platten und kunststoffummantelten negativen Platten (S/PBE-Technologien) bieten hohe Leistung und hervorragendes Lade-/Entladeverhalten bei gleichzeitig geringem Wartungsaufwand. Dabei ist die Fähigkeit der Batterie, eine große Zahl von Zyklen mit geringer Entladung im teilentladenen Zustand zu überstehen, von besonderer Bedeutung. S/PBE-Zellen können 3500 Zyklen bei 80% Entladetiefe bieten, aber – und das ist entscheidend – bei 10% Entladetiefe 50 000 Zyklen überstehen. Die S/PBE-Ni-

Ni-MH-Produkte

- höhere Energie- und Leistungsdichte
- wartungsfreies Design (interne Rekombination)
→ benötigt Ladesteuerung und
→ Spannungs- und Temperaturüberwachung
- NHE-Modul-Reihe – High Energy
→ prismatisches Modul für EV-Anwendungen entwickelt
→ 12 V – 100 Ah; 6 V – 200 Ah; 2,4 V – 500 Ah; 1,2 V – 1000 Ah
- NHP-Modul-Reihe – High Power
→ prismatisches Modul für Hybrid-Anwendungen bei schweren Fahrzeugen entwickelt (Busse, Straßenbahnen ...)
→ 12 V – 34 Ah; 6 V – 68 Ah



Abb. 3: Eigenschaften von Nickel-Metallhydrid-Batterien

Ni-MH-Batteriesystem für Müllfahrzeug

● Dual Mode Applikation Batteriesystem

- 100 Ah - 540 V Ni-MH-Batteriesystem
- 54 kWh Energie; 80 kW - 130 kW Leistung
- Gesamtgewicht des Batteriesystems: 1,5 to
- rein elektrisch (einsammeln) oder hybrid (fahren)

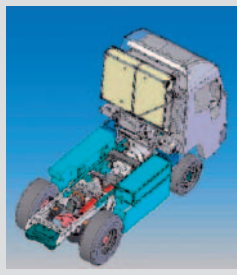


Abb. 4: Nickel-Metallhydrid-Batteriesystem für ein Müllfahrzeug

Cd-Technologie erfüllt die Anforderungen dieser Anwendung und ist eine sehr gute Wahl für die nähere Zukunft. Ein Nachteil dieser Technologie ist, dass regelmäßig Wasser nachgefüllt werden muss.

Nickel-Metallhydrid

Nickel-Metallhydrid-Zellen (Ni-MH) sind im Wesentlichen eine Weiterentwicklung der Nickel-Cadmium-Technologie, wobei die Elektrode auf Cadmium-Basis durch eine Wasserstoff aufnehmende negative Elektrode ersetzt wird. Die Batterie muss abgedichtet werden, um Wasserstoffverlust zu verhindern, allerdings ist der mittlere Druck in der Zelle gering. Am Ende der Ladung erfolgt eine hundertprozentige Rekombination des Wassers, genau wie in abgedichteten Ni-Cd-Zellen.

Dieser Rekombinationsmechanismus (der in allen verschlossenen und wasserhaltigen Batteriesystemen zu beobachten ist) begrenzt den Ladezustand der Batterie und sorgt dafür, dass am Ende der Ladung alle Zellen gleichmäßig aufgeladen sind. Allerdings wird der Teil der überladenen Energie, der nicht elektrochemisch gespeichert werden kann, als Wärme freigesetzt, so dass eine hochwirksame Temperaturregelung erforderlich ist, insbesondere bei hohen Laderaten. Das Fehlen einer verbrauchbaren Elektrolytreserve (Nachfüllen von Wasser ist nicht erforderlich) sowie die negative Elektrode auf Wasserstoffbasis sind für die Haupteigenschaft der Ni-MH-Zellen verantwortlich: eine wesentlich höhere Energiedichte (bis zu 250 Wh/dm³) und eine leicht höhere spezifische Energie (ca. 70 Wh/kg) im Vergleich zu Ni-Cd. Auch Ni-MH-Zellen haben eine Lebensdauer von vielen Lade-/Entladezyklen, typischerweise mehrere Tausend vollständige Zyklen, allerdings liegt die Selbstentladungsrate höher.

Wie Ni-Cd- können auch Ni-MH-Zellen als Hochenergie- bzw. Hochleistungsbatterie gebaut werden, sowohl in zylindrischer als auch prismatischer Form.

Hochleistungsmodul für Vollhybridfahrzeuge

Hochleistungs-Ni-MH-Batterien werden heute in großen Stückzahlen für in Serie

gefertigte Hybridfahrzeuge produziert, von denen der Toyota Prius, ein Vollhybridfahrzeug mit einer Ni-MH-Batterie von PEVE, das bekannteste ist. Typischerweise werden dabei zylindrische oder prismatische Zellen mit 6 Ah und Systemspannungen von ca. 200 V eingesetzt. Saft hat ein prismatisches Hochleistungsmodul mit größerer Kapazität entwickelt, das für größere Fahrzeuge, Busse oder Straßenbahnen geeignet ist.

Bei einem Experiment wurden über 50 000 Entlade-/Ladezyklen mit 4,5 kW/min mit diesem wassergekühlten Modul erreicht, bei einer Durchschnittstemperatur von 35 °C. Dieses Zyklusprofil mit 20% Entladetiefe simuliert den Betrieb eines Hybridbusses mit maximalen Lade- und Entladeraten von 150 A bzw. 120 A. Die erreichte Zyklenzahl entspricht einer insgesamt entladenen Kapazität von 10 000 Mal der genannten Kapazität, was 7,5 Betriebsjahren eines typischen Hybridbusses entspricht.

Auch hier wird die Leistungsstärke der Batterie nicht nur durch die hohe Anfangsleistung deutlich, sondern noch viel mehr durch die Gleichmäßigkeit der abgegebenen Leistung über die gesamte Lebensdauer und die gesamte Entladetiefe. Ni-MH-Batterien sind im Allgemeinen teurer als Ni-Cd-Batterien. Die Anschaffungskosten müssen allerdings, wie bei Ni-Cd-Batterien auch, auf die gesamte Lebensdauer umgelegt werden.

Systemintegration

Auch die für sich gesehen beste Batterietechnologie kann in Anwendungen nur dann zu befriedigenden Ergebnissen führen, wenn die Integration der einzelnen Zellen oder Module in ein Fahrzeugsystem gut durchdacht ist. Die Hauptaspekte, die dabei beachtet werden müssen, sind die Durchführung der Ladung und Entladung, die Wärmebeherrschung sowie mechanische Aspekte. Darüber hinaus muss das System diverse ungünstige Betriebsbedingungen überstehen, wenn ein oder mehrere Betriebsparameter außerhalb des Nennbereichs liegen. Ein komplettes Batteriesystem besteht aus elektrochemischen Zellen, einem Betriebsrechner (BMC), Leistungselektronik, Kommunikationsschnittstellen sowie einem mechanischen Gehäuse.

Ladung und Entladung der Ni-MH-Module werden überwacht. Im Allgemeinen wird an jeder 20. Zelle die Spannung gemessen (24 V). Die Modultemperatur wird an verschiedenen Orten gemessen, abhängig von der Bauart der Batterie. Der Gesamt-Batteriestrom wird ebenfalls gemessen.

In Anwendungen mit Tiefentladung, also meist bei Fahrzeugen in denen die Batterie einen vollelektrischen Antrieb ermöglicht, wird die Batterie mit konstanter Stromstärke bei einer Rate von bis zu 0,3 C aufgeladen. Im Hybridmodus steigt die Laderrate kurzfristig auf bis zu 10 C.

Der BMC sammelt und verarbeitet sämtliche Daten der Spannungs-, Temperatur- und Strommessungen. Der Rechner überwacht den Lade- und Entladevorgang und leitet in Problemsituationen geeignete Maßnahmen ein. So wird der Lade- und/oder Entladevorgang durch einen Schalter unterbrochen und die jeweiligen Alarmsignale werden ausgelöst. Zusätzlich wird der Ladezustand der Batterie errechnet.

Der BMC verfügt über Kontroll- und Diagnosefunktionen für die elektronischen Bauteile sowie eine Selbstdiagnosefunktion für das gesamte System. Mit dem Fahrzeugsteuersystem kommuniziert der BMC über einen CAN-Bus. Weiterhin verfügt der Rechner noch über eine Black Box, in der die wichtigsten Betriebsdaten zu Diagnosezwecken gespeichert werden.

Wärmebeherrschung

Die Wärmebeherrschung ist ein sehr wichtiger Aspekt beim Batteriebau. Durch die ständigen Lade- und Entladezyklen entsteht in der Zelle Wärme. Da eine erhöhte Temperatur die Alterung der Batterie erheblich beschleunigt und niedrige Temperaturen die Entladeleistung beeinträchtigt, muss versucht werden, die gesamte Batterie gleichmäßig im optimalen Temperaturbereich zu halten. Dieser Bereich liegt zwischen +20 °C und +35 °C. Die Flüssigkeitskühlung ist die wirksamste Möglichkeit, um die Temperatur im gewünschten Bereich zu halten. Die Zusatzkosten für das Hydrauliksystem und den Wärmetauscher sind bei großen Hybridsystemen in der Regel gerechtfertigt. Das bereits erwähnte Hochleistungsmodul ist für die Flüssigkeitskühlung durch ein System von Wasserfächern in den Modulwänden ausgelegt. Dieses System sorgt für eine wirksame Flüssigkeitszirkulation an den größeren Flächen der einzelnen Sub-Module. Der gesamte Kühlkreislauf ist an der Batterie mit einer Flüssigkeitskühlleinheit (Wärmetauscher) verbunden, durch die die notwendige Wärmeableitung erfolgt.

Die Funktion ist auch umkehrbar, damit bei kalter Witterung die Batterie beheizt werden kann. Die erforderliche Kühlleistung hängt von der abzuleitenden Wärme-

menge ab, d.h. von der Anzahl der Batteriemodule sowie dem effektiven Profil des Antriebszyklus.

Anwendungsbeispiele

Untenstehend werden zwei beispielhafte Großfahrzeuge beschrieben, in denen Ni-MH-Batterien eingesetzt werden.

Hybridstraßenbahn:

Genau wie bei konventionellen Systemen nutzt die Hybridstraßenbahn während des Großteils der Fahrt die Energie der Fahrleitung. In der Innenstadt oder in historischen Stadtteilen kann dann aber für Strecken bis zu 1 km auf das fahrzeugeigene Batteriesystem umgeschaltet werden. Die Batterie liefert unabhängig Energie bis das Fahrzeug die nächste externe Versorgungsleitung erreicht. Tatsächlich entspricht das Betriebsprofil einem Dualbetrieb, d.h. das Fahrzeug wird entweder über eine konventionelle Energieversorgung angetrieben (Fahrleitung, prinzipiell sind aber auch andere Energiequellen möglich), oder für kurze, aber häufige Phasen durch die Batterie.

Bei einem typischem Fahrzeuggewicht von 30 bis 60 t und Strecken von 200 bis 800 m liegt die notwendige Batterieleistung zwischen 80 und 200 kW für eine Antriebsdauer von 100 bis 200 Sekunden, 15 bis 30 Mal täglich. Wichtig ist dabei, dass mehrere aufeinander folgende Anfahrzyklen durchführbar sind, da die Straßenbahn mehrmals innerhalb eines Streckenabschnitts ohne Oberleitung halten und anfahren muss, bedingt durch starken Verkehr, Staus oder Fußgänger. Typische Batteriekennerwerte zeigt Tab. 1.

Hybridmüllwagen:

Es gibt bislang nur wenige Müllsammel-fahrzeuge mit Elektroantrieb, obwohl die Vorteile eines geräuscharmen und umweltfreundlichen Betriebs, der sogar nachts möglich wäre, auf der Hand liegen. Ein Beispiel ist der FCC-Hybridmüllwagen, der in Spanien unter dem Eureka-Label gebaut wurde. Das Fahrzeug kann während des Einsammelns des Mülls im reinen Elektrobetrieb fahren. Daher ist eine bestimmte Energiemenge nötig, damit der Wagen die erforderliche Strecke fahren kann. Zusätzlich kann der Müllwagen im Vollhybridbetrieb genutzt werden, wobei die Batterie bei Leistungsspitzen beim Anfahren und Beschleunigen zur Unterstützung zugeschaltet wird und mit einem Dieselgenerator die elektrische Antriebskette des Fahrzeugs mit Energie versorgt wird. Die Batterie speichert zusätzlich regenerative Bremsenergie.

Um mit einer einzigen Batterieladung den 15 t schweren Wagen über die nötige Strecke von 3 km zu bringen, sind 4 bis 5 kWh erforderlich. Zusätzlich werden

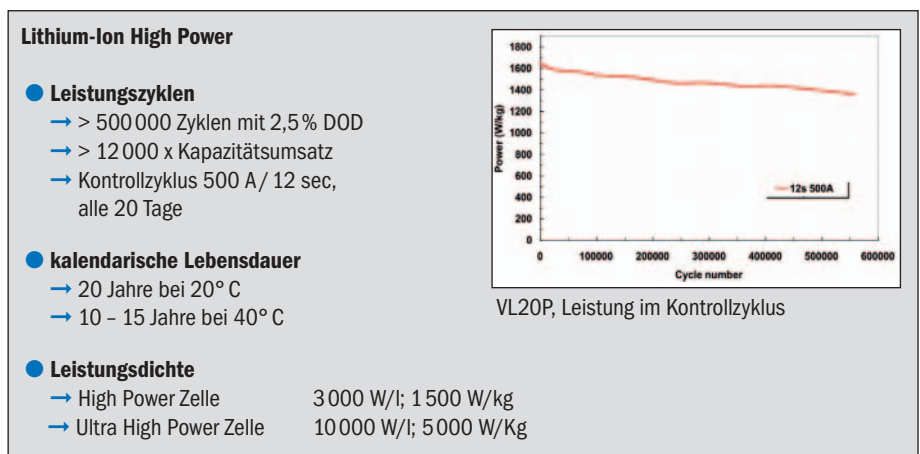


Abb. 5: Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien

13 kWh zum Betrieb des Hydrauliksystems während des Einsammelns benötigt. Im Hybridmodus beträgt die erforderliche Spitzenleistung 130 kW über 10 Sekunden. Abschließend kann die Batterie während des Bremsens für einige Sekunden mit der Maximalleistung von 90 kW aufgeladen werden.

Lithium-Ionen

Lithium-Ionen-Batterien wurden Anfang der 1990er Jahre als erstes wiederaufladbares System eingeführt, das nicht mit Wasser gefüllt war. Grundsätzlich können Li-Ionen-Batterien mit verschiedenen elektrochemischen Komponenten gebaut werden, unterschiedlich sind dabei jeweils Art und Verbindung der Metallionen in den positiven Elektroden. Die wichtigsten Grundeigenschaften sind eine bemerkenswert hohe spezifische Energie, eine hohe Energiedichte sowie eine hohe Spannung der Einzelzellen, durch die für den Bau einer Hochspannungsbatterie weniger Zellen benötigt werden. Mit dünnen Elektroden und Separatoren können Hochleistungsbatterien mit sehr hoher Leistung gebaut werden. Li-Ionen-Zellen werden in Massenfertigung für Verbraucheranwendungen in Größen von 1 bis 3 Ah produziert. Die weltweiten Produktionskapazitäten für großformatige Li-Ionen-Zellen für Industrieanwendungen sind nach wie vor begrenzt, so dass die Kosten noch vergleichsweise hoch sind.

Es wird erwartet, dass Li-Ionen-Batterien ökonomisch konkurrenzfähig werden, sobald die Kosten durch größere Produktionsvolumina sinken und mittelfristig werden sie vermutlich die heute gebräuchlichen Ni-MH-Batterien ersetzen [3].

Bereits heute sind verschiedene prismatische und zylindrische Versionen im Handel verfügbar und werden auch schon in einigen fortschrittlichen Industrieanwendungen eingesetzt.

Langfristig stellt die Lithium-Ionen-Technologie die vielversprechendste Option für Hybrid-Elektrofahrzeuge dar. Moderne Li-Ionen-Zellen auf Nickelbasis verbinden hohe Leistung und hervorragendes Lade- und Entladeverhalten mit einer Betriebsdauer, die die Haltbarkeit von Verbraucherbatterien weit übersteigt, so dass die Zellen mit der Lebensdauer von Industrieanlagen (10 bis 20 Jahre) mithalten können. Zudem zeichnet sich diese Technologie durch hohe Energieeffizienz, geringe Größe und geringes Gewicht sowie Wartungsfreiheit aus.

Die Herausforderung bei der Nutzung von Li-Ionen-Batterien ist die Konzeption des Gesamtsystems. Sicherer Batteriebetrieb muss durch elektronische Kontrollfunktionen, die die Kosten nur minimal steigern dürfen, ebenso sichergestellt sein, wie Zuverlässigkeit und Robustheit.

Zur Einführung von Lithium-Ionen-Technologie im Bereich von Elektro- und Hybridfahrzeugen wurden große öffentlich

Batterie	44 bis 68 Module NHP 10-340
Nominalspannung	530 bis 820 V
Batteriesystemgewicht	800 bis 1 100 kg
Batterieenergie	18 bis 28 kWh
Batterieleistung	90 bis 200 kW
Entladetiefe	8 bis 20%
Zykluslebensdauer	14 000 bis 60 000 Zyklen
Gebrauchsdauer	6 bis 8 Jahre

Tab. 1: Beispiel für typische Anforderungen an Ni-MH-Batterien für Hybridstraßenbahnen

finanzierte Entwicklungsprogramme in der vergangenen Dekade durchgeführt [7,8], doch kommerziell erhältlich sind Hybrid-Elektrofahrzeuge mit Li-Ionen-Technologie nach wie vor nicht. JCS (Johnsson Controls – Saft Advanced Power Solutions) konnten 2006 den Zuschlag für einen Auftrag über Li-Ionen-Batterien für die Mercedes S-Klasse 400 Hybrid von Daimler bekannt geben. Die dafür erforderliche Fertigungsanlage wird mit einem Aufwand von 15 Mio. EUR in Nersac, Frankreich gebaut. Die Serienproduktion wird dort 2008 anlaufen.

Zur kommerziellen Einführung auf großen Fahrzeugen, insbesondere im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs, bleibt die Systemintegration eine große Herausforderung. Das Batteriesystem muss immer an das spezifische Betriebsprofil angepasst werden und auch zu einer Reihe von mechanischen, elektrischen und elektronischen Komponenten kompatibel sein, welche die Schnittstelle von Batterie und Fahrzeug darstellen.

Zusammenfassung

An Batterien für rein elektrisch oder hybrid angetriebene Fahrzeuge müssen hohe

Anforderungen gestellt werden. Derartige Antriebsbatterien müssen neben hoher Kapazität, langer Lebensdauer und niedrigem Gewicht auch der Betriebsweise der Fahrzeuge angepasst sein. Dafür ist es notwendig, intelligente Antriebssysteme zu entwickeln, damit die Vorteile dieser Hybridtechnik auch optimal genutzt werden können. Erst in den letzten Jahren ist es gelungen, derart leistungsfähige Batterien zu entwickeln und zur Serienreife zu bringen.

LITERATUR

- [1] Broussely, M.: Traction Batteries, EV, HEV and Other Vehicles, in: Industrial Applications of Batteries, from Cars to Energy Storage and Aerospace; M.Broussely and G.Pistoia editors, Elsevier, Amsterdam, to be published early 2007
- [2] Ulrich, P.; Liska, J.L.: Proceedings of 20th Electric Vehicle Symposium (EVS20), Long Beach, CA, USA (2003)
- [3] Broussely, M.; Blanchard, P.; Biensan, P.; Rigobert, G.; Liska, J.L.; Genin, P.; Barsacq, F.: Abstracts of the 46th Battery Symposium, 3E, 616-617, Nagoya, Japan, 2005
- [4] Miyamoto, T.; Touda, M.; Katayama, K.: Proceedings of EVS13 symposium Vol 1, 37-44, Osaka, Japan, 1996.31
- [5] Sarre, G.; Lafflaquière, P.; Borello, C.; Ceres, P.; Rena, P.: Proceedings of 3rd AABC conference, Nice, France, 2003
- [6] Bitsche, O.; Gutmann, G.; Schmolz, A.; d'Ussel, L.: Proceedings of 18th ElectricVehicle Symposium (EVS18), Berlin, Oct 2001
- [7] Barnes, J.A.; Duong, T.Q.; Howell, D.: Abstracts of the 46th Battery Symposium, 3E, 564-565, Nagoya, Japan, 2005
- [8] Ikeya, T.; Miyazaki, H.; Kuriyama, H.; Sato, Y.: Proceedings of 21th Electric Vehicle Symposium (EVS21), A1, Monaco, France, 2005
- [9] Johnsson Controls – Saft Advanced Power Solutions, Press Release N° 03-06, Paris, France & Milwaukee (Wi), USA, September 2006



Holger Schuh

Geschäftsführer Saft Batterien GmbH, Nürnberg
Holger.Schuh@saftbatteries.com

Summary

Modern battery power systems for hybrid railway vehicles

Batteries for electric- or hybrid-propulsion railway vehicles need to meet high requirements. Alongside high capacity, long service life and low weight, they also need to be adapted to the vehicles' mode of operation. This entails developing intelligent propulsion systems so as to be able to exploit the benefits of such hybrid technology to the full. Only in the last few years has the development of such high-performance systems reached a stage where series production is feasible.



IBC 012-1-08 Photo credits: © Digital Vision, J. Isenmann, PhotoDisc, Saft, LOHR 2006



Saft-Batteriesysteme sind weltweit zahlreich im Einsatz. In enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden entwickeln wir Produkte, welche den äußerst hohen Anforderungen gerecht werden, die ein dynamischer, sich stets weiter entwickelnder Markt an uns stellt.

Unsere Standardlösungen reichen von einfachen Systemen zum Einbau in bestehende Gerätekästen, bis hin zu voll integrierten, kundenspezifischen Energiesystemen für hochkomplexe Anwendungen.

Saft Batterien werden heute bereits zum Antrieb von Hybridstraßenbahnen eingesetzt. Fortschrittliche Technologien ermöglichen eine weitere Leistungssteigerung der Antriebs- und Notstrombatterien im mobilen Schienenverkehr.

www.saftbatteries.de

Saft Batterien GmbH - Löffelholzstrasse 20, 90441 Nürnberg - Tel: +49 911 94174-41
Email: Frank.Strunz@saftbatteries.com

