

Batterietechnologien für einphasige USV-Systeme: VRLA und Lithium-Ionen

White Paper 266

Version 1

von Victor Avelar
Martin Zacho

Zusammenfassung

Die Preise für Lithium-Ionen-Batterien sind seit Jahren rückläufig, daher wird diese Technologie zunehmend interessant für den Einsatz in USV-Systemen. Dieses Dokument gibt einen kurzen Überblick über die Nutzung von Lithium-Ionen-Batterien im Vergleich zu VRLA-Batterien für einphasige USV-Systeme. Die Analyse der Gesamtkosten (TCO) über einen Zeitraum von 10 Jahren zeigt, dass Li-Ion-Zellen trotz höherer Einstiegskosten 53 Prozent günstiger sind als die VRLA-Varianten. Eine Sensitivitätsanalyse nennt die relevanten Kostenfaktoren.

Einführung

Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion) werden seit etwa 20 Jahren in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt¹. Daher stellt sich die Frage, warum sie nicht auch als Standardvariante in einphasigen USV-Systemen verwendet werden? Das liegt daran, dass Li-Ion-Zellen² für USV-Hersteller bisher nicht die Kombination von Kosten, Energiedichte, Leistung, Sicherheit und Zuverlässigkeit bieten konnten, die für einphasige USV-Systeme erforderlich ist. Doch mit den Fortschritten bei der chemischen Zusammensetzung von Li-Ion-Zellen und der Technologie insgesamt während der vergangenen 10 Jahre haben sich neue Möglichkeiten ergeben. Diese Entwicklung geht im Wesentlichen auf die Anforderungen von Fahrzeugen mit Elektroantrieben zurück. **Abbildung 1** zeigt ein Beispiel einer Li-Ion-Batterie für eine einphasige USV. In der Abbildung ist das USV-System mit dem darunter liegenden Li-Ion-Batteriemodul zu sehen.

Abbildung 1

Li-Ion-Batteriemodul
(unten) mit einphasiger
USV (oben)



Li-Ion-Batterien bieten gegenüber VRLA-Zellen zahlreiche Vorteile:³

- Über die Lebensdauer einer USV sind weniger (oder gar keine) Batteriewechsel erforderlich. Somit reduziert sich auch das Ausfallrisiko durch den Batterieaustausch
- Etwa ein Drittel weniger Gewicht bei gleicher Kapazität
- Bis zu zehn Mal mehr Entladezyklen, abhängig von chemischer Zusammensetzung, Technologie, Temperatur und Entladungstiefe
- Bis zu vier Mal geringere Selbstentladung (langsame Entladung, z. B. wenn die Batterie nicht genutzt wird)
- Vier bis fünf Mal schnellere Ladevorgänge – ein großer Vorteil in Bereichen mit häufigen Stromausfällen

Doch Li-Ion-Batterien haben auch zwei wesentliche Nachteile gegenüber der VRLA-Technologie:

- Höhere Investitionskosten für die gleiche Kapazität durch höhere Herstellungskosten und zusätzlichen Aufwand für das erforderliche Batteriemanagementsystem

¹ <http://www.sonyenergy-devices.co.jp/en/keyword/> (abgerufen am 28.02.2016)

² Hinweis: Die Bezeichnung „Zelle“ bezieht sich auf den kleinsten Baustein einer Batterie. Batterien bestehen aus zwei oder mehr Zellen, die für einen bestimmten Einsatzbereich zusammengefügt werden, z. B. für die Nutzung in einer USV.

³ http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery (abgerufen am 28.02.2016)

- Strengere Transportrichtlinien

Dieses Dokument gibt einen kurzen Überblick über die Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien im Vergleich zur VRLA-Technologie. Zudem vergleichen wir Investitions-, Betriebs- und Gesamtkosten (TCO) der beiden Batterietechnologien.

Lithium-Ionen-Batterien –

Lebensdauer

Die Lebensdauer einer Batterie ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Hinzu kommt, dass Anbieter verschiedene Parameter für die Angabe der Lebensdauer verwenden. Häufig wird hier der Begriff **Zykluslebensdauer** verwendet. Damit wird der Zeitraum (geschätzt) bezeichnet, bis zu dem die Batterie nur noch 80% Prozent ihrer Anfangskapazität erreicht. Wird dieser Wert unterschritten, hat die Batterie nach der allgemeinen Definition das Ende ihrer Zykluslebensdauer erreicht. Bei dieser Definition wird davon ausgegangen, dass die Batterie unter realen Bedingungen für einen vorgesehenen Zweck eingesetzt wird, daher kann dieser Wert stark variieren. Im Gegensatz dazu gibt der Terminus **kalendarische Lebensdauer** den Zeitraum an, über den eine Batterie voraussichtlich betriebsbereit bleibt, wenn sie über ihre gesamte Lebensdauer bei 25°C mit Erhaltungsladung versorgt wird, ohne dass sie bei Stromausfällen die angeschlossene Last versorgen muss. VRLA-Batterien haben eine Zykluslebensdauer von 3 - 6 Jahren, während Li-Ion-Batterien hier Werte von bis zu 10 Jahren erreichen (geschätzt anhand von Accelerated-Life-Tests). Bitte beachten Sie, dass es einige Jahre dauern kann, bis Daten zur tatsächlichen Zykluslebensdauer von neuen Li-Ion-Batterien verfügbar sind. Dennoch werden einige Li-Ion-Batterien mit einer Garantie von 10 Jahren verkauft, um trotz fehlender Daten Planungssicherheit für die Käufer zu bieten.

Temperatur

Erhöhte Temperaturen führen sowohl bei Bleisäure- als auch bei Li-Ion-Batterien zu einer Reduzierung der kalendarischen und der Zykluslebensdauer. Doch die Lebensdauer von Li-Ion-Batterien wird dadurch weniger beeinträchtigt als die der Bleisäure-Varianten. Viele Lithium-Ionen-Batterien, die in USV-Systemen eingesetzt werden, sind für höhere Temperaturen ausgelegt. (z. B. bis 40°C) und daher in der Lage, die angegebene Zykluslebensdauer auch bei diesen höheren Temperaturen zu erreichen.

Stellfläche

Aufgrund der spezifischen Energie von Li-Ion-Batterien haben diese ein kleineres Volumen und benötigen eine kleinere Stellfläche als VRLA-Systeme. Dieser geringe Raumbedarf ist besonders für Einsatzbereiche interessant, die eine lange Autonomiezeit und entsprechende externe Batteriekapazität erfordern.

Gewicht

Die höhere Energiedichte macht sich auch beim Gewicht bemerkbar. Li-Ion-Batterien sind also auch leichter im Vergleich zu VRLA-Modellen. Das vereinfacht die Handhabung der externen Batteriemodule während der Installation oder bei einem Austausch.

Batterieüberwachung

Batteriemanagementsysteme (BMS) sind aufgrund der hohen Kosten in der Regel nicht Bestandteil von einphasigen USV-Systemen. Li-Ion-Batterien hingegen sind bereits standardmäßig mit einem BMS ausgestattet, da diese Systeme einen vollständig gesteuerten Lade- und Entladevorgang erfordern, um sicherheitskritische Temperaturen in den Zellen zu vermeiden.

Sicherheit

Sicherheit hat höchste Priorität beim Einsatz von Batterien. Das gilt insbesondere, wenn es um Lithium-Ionen-Batterien geht. Anbieter von USV-Systemen müssen eng mit erfahrenen Herstellern von Li-Ion-Batterien zusammenarbeiten, um die beste Kombination von chemischer Zusammensetzung, Technologie Zellanordnung und Batteriemangement für die jeweilige USV zu finden.

Sämtliche Arten von Batterien speichern Energie in chemischer Form, daher stellen Batterien bei unsachgemäßer Handhabung (z. B. wenn sie mit Feuer in Berührung kommen) oder bei Überladung grundsätzlich ein Sicherheitsrisiko dar, weil sie gefährliche Stoffe freisetzen oder Brände verursachen können. Li-Ion-Batterien galten als unberechenbarer, da Fälle gemeldet wurden, in denen sie aufgrund ihrer wesentlich höheren spezifischen Energie und höherer Anfälligkeit für Überladung in Brand gerieten. Bei falscher Handhabung überhitzen Lithium-Ionen-Batterien schneller, weil der Widerstand ihrer Zellen geringer und die Energiespeicherkapazität höher ist als bei VRLA-Batterien.

Doch im Laufe der Jahre wurden die Systeme immer sicherer, sodass der Sicherheitsstandard heute ähnlich ist wie bei anderen Batteriearten. Veränderungen der chemischen Zusammensetzung und optimierte Zellanordnung haben die Batterien stabiler gemacht. Zudem wurden die Fertigungsprozesse weiterentwickelt und die verwendeten Materialien sind robuster. Batteriemangement-Funktionen werden umfassend getestet, um zu verhindern, dass Lithium-Ionen-Batterien überladen werden oder überhitzen. Die weit verbreitete Verwendung von Lithium-Batterien in Millionen portabler Elektronikgeräte, Smartphones und Elektrofahrzeugen ist ein Beleg für ihre hohe Sicherheit.

Da Lithium-Ionen-Batterien sehr empfindlich auf falsches Laden und Entladen reagieren, sind sie immer mit einem Batteriemagementsystem (BMS) ausgestattet. So ein System besteht aus Mikroprozessoren, Sensoren, Schaltern und entsprechenden Schaltkreisen. Es überwacht kontinuierlich die Temperatur in den Zellen, den Ladezustand und den Ladestrom, um Kurzschlüsse und ein Überladen zu verhindern. Das System kann die Zellen auch gegen Schäden durch Tiefentladung schützen. Das BMS versorgt die USV und die Anwender mit genauen Daten über den Batteriestatus und die verfügbare Autonomiezeit.

Transportvorschriften

Es gibt verschiedene Vorgaben für den Transport von Batterien, auch für Li-Ion- und VRLA-Systeme. Die Transportbedingungen sind in der Regel strenger für Li-Ionen-Systeme, da diese eine höhere Energiedichte aufweisen und ihre chemische Zusammensetzung durch eine höhere Volatilität gekennzeichnet ist.

Die Bestimmungen sind zwar von Land zu Land verschieden, einen guten Überblick geben jedoch die Luftfrachtbedingungen der International Air Transport Association (IATA) und ihre Richtlinie für den Transport von Gefahrgütern („Dangerous Goods Regulation“ - DGR)⁴, in der die Bedingungen für Frachtaufträge nach Größe, Gewicht und Anzahl aufgeführt sind. Für den Transport werden Lithium-basierte Batterien demnach eingeteilt in Material, das der Gefahrklasse 9 entspricht oder Material, das nicht der Gefahrklasse 9 entspricht⁵. Nicht zur Gefahrklasse 9 gehören kleinere und geringere Mengen Batterien. Zur Gefahrklasse 9 gehören größere Mengen oder größere Formate von Batterien. Versandetiketten, Verpackung und spezielle Handling-Anforderungen werden für jede Klasse detailliert beschrieben.

⁴ <http://www.iata.org/publications/dgr/Pages/index.aspx> (abgerufen am 19.01.2016)

⁵ http://batteryuniversity.com/learn/article/shipping_lithium_based_batteries_by_air (abgerufen am 26.02.2016)

Dabei ist jedoch zu beachten, dass es für Batterien jeglicher Art bestimmte Richtlinien und Einschränkungen gibt. So dürfen beispielsweise Batterien, die in Geräte eingebaut sind, während des Transports nicht angeschlossen sein. Für den Anwender oder Händler sind diese Faktoren nicht von großer Bedeutung, da die Verantwortung für die Einhaltung der Bestimmungen für Konstruktion, Etikettierung, Dokumentation, Zertifizierung und Verpackung in der Regel beim Hersteller liegt.

Recyclingfähigkeit

Nach Einschätzung der US-Behörden sind Li-Ion-Batterien nicht gefährlich und können daher auf normalen Abfalldeponien entsorgt werden. Li-Ion-Batterien enthalten kein Quecksilber, Blei, Cadmium oder andere Stoffe, die als gesundheitsgefährdend eingestuft werden.

Beide Batterietypen sind recyclingfähig. Doch aktuell ist es in den meisten Regionen der Welt wesentlich einfacher, Bleisäure-Batterien zu recyceln als großformatige Li-Ion-Batterien aus USV-Systemen und Elektrofahrzeugen.

Es gibt viele Recycling-Unternehmen, die kleinere Lithium-Ionen-Batterien annehmen. Heutzutage werden die meisten der kleineren Batterieformate eingesammelt und zerkleinert. Ein Teil der Materialien kann dann wieder verwendet werden, der Rest wird der Müllverbrennung zugeführt. Ein großer Teil der Materialien landet auf Abfalldeponien. Aus rein wirtschaftlicher Sicht ist das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien zur Rückgewinnung der sehr kleinen Mengen von Lithium-Metall und anderen, weniger wertvollen Metallen (Aluminium, Nickel usw.) nicht sinnvoll. Aktuell wird die Verbesserung der Recycling-Effizienz erforscht und immer mehr Behörden unterstützen, fördern oder fordern gar die Rückführung und das ordnungsgemäße Recycling von Batterien.

Wirtschaftliche itsanalyse

Die Nutzung von Gesamtkosten (TCO) als Parameter für die Bewertung von IT-Investitionen wie USV-Wartung ist heute zunehmend verbreitet. Li-Ion-Batterien können mit bestimmten Technologien und chemischen Zusammensetzungen über einen Zeitraum von 10 Jahren niedrigere Gesamtkosten (TCO) erreichen als VRLA-Batterien. Dieser Zeitraum ist die typische Lebensdauer einer USV bis sie ausgetauscht wird.

Annahmen

Tabelle 1 enthält eine Liste der Batterieeigenschaften, die relevant für die TCO-Analyse sind.

Batterieeigenschaft	VRLA	Li-Ion
Chemische Basis	Bleisäure	NMC
Nennkapazität	1,5 kVA	1,5 kVA
Autonomiezeit bei 25°C	22 Minuten	19 Minuten
Zykluslebensdauer der Batterie bei 25°C	4 Jahre	10 Jahre

Tabelle 1

Batterieeigenschaften als Grundlage für die TCO-Analyse

Tabelle 2 gibt Aufschluss über die Annahmen, die dieser Analyse zugrunde liegen.

Tabelle 2

Annahmen für die TCO-Analyse

Annahme	VRLA	Li-Ion
USV-Last	900 W	900 W
USV-Lebensdauer	10 Jahre	10 Jahre
Betriebstemperatur	25°C (77°F)	25°C (77°F)
Jahre, in denen die Batterien während der USV-Lebensdauer erneuert werden	Jahre 4 und 8	Nicht erforderlich
Preis der externen Batteriemodule für erforderliche Autonomiezeit	€640*	€1.050
Austauschkosten der internen und externen Batteriemodule für die angegebene Autonomiezeit	€740 / Austausch	-
Arbeitskosten für den Austausch	175€ / Austausch	Nicht erforderlich
Kapitalkosten ⁶	0%	0%

* Dies ist nur der Preis für das externe Batteriemodul der VRLA-USV, das für die erforderliche Autonomiezeit sorgt. Die Kapitalkosten für das interne Batteriemodul der VRLA-USV sind in dieser Kalkulation nicht berücksichtigt.

Investitionskosten

Die anfänglichen Batteriekosten im „Jahr 0“ umfassen die Batterie-Materialkosten sowie die Installationskosten. **Tabelle 3** zeigt die detaillierten Investitionskosten für beide Batterielösungen.

Tabelle 3

Detaillierte Investitionskosten

Investitionskosten	VRLA	Li-Ion	% Veränderung
Batterie-Materialkosten	€640	€1.050	Li-Ion: 64% mehr Investitionskosten als VRLA
Installationskosten	€175	€175	Gleiche Investitionskosten
GESAMT	€815	€1.230	Li-Ion: 51% mehr Investitionskosten als VRLA

Betriebskosten

Die Betriebskosten für die Batterien vom 1. bis zum 10. Jahr. Bei einphasigen USV-Systemen machen die Kosten für den Batterieaustausch den größten Anteil der Betriebskosten aus. **Tabelle 4** zeigt die detaillierten Betriebskosten für beide Batterielösungen. Bitte beachten Sie, dass in dezentralen IT-Installationen oder Edge-Datacentern mit zahlreichen Niederlassungen die Kosten für den Batterieaustausch bei €175 bis €220 liegen können. In diesen Niederlassungen gibt es in der Regel kein Servicepersonal. Dafür werden in einigen Fällen Anbieter von

⁶ Die Kapitalkosten geben die Kapitalrendite an und werden in der Cashflow-Analyse verwendet, um den Wert des zukünftigen Cashflows über mehrere Jahre zu ermitteln. Mit steigenden Kapitalkosten reduzieren sich die Gesamtkosten (z.B. bei 20% Kapitalkosten). Die maximalen Gesamtkosten ergeben sich, wenn die Kapitalkosten bei 0% liegen. Um die Analysen in diesem Dokument zu vereinfachen, gehen wir von 0% Kapitalkosten aus.

Managed Services verpflichtet, Ersatzbatterien zu beschaffen und den Austausch der Batterien vor Ort zu übernehmen. Selbst wenn Unternehmen diese Aufgaben mit eigenem Personal durchführen, sind dafür Kosten von ca. €175 pro Austausch zu veranschlagen.

Tabelle 4
Detaillierte
Betriebskosten

Betriebskosten	VRLA	Li-Ion	% Veränderung
Kosten für Batterieaustausch im Jahr 4	€740	€0	Li-Ion: 100% weniger Betriebskosten als VRLA
Arbeitskosten für Batterieaustausch im 4. Jahr	€175	€0	Li-Ion: 100% weniger Betriebskosten als VRLA
Kosten für Batterieaustausch im 8. Jahr	€740	€0	Li-Ion: 100% weniger Betriebskosten als VRLA
Arbeitskosten für Batterieaustausch im 8. Jahr	€175	€0	Li-Ion: 100% weniger Betriebskosten als VRLA
GESAMT	€1.820	€0	Li-Ion: 100% weniger Betriebskosten als VRLA

TCO

Die Gesamtkosten über 10 Jahre berücksichtigen die oben genannten Investitionskosten und Betriebskosten. Für die Li-Ion-Variante fallen über 10 Jahre 53% weniger Gesamtkosten an als für die VRLA-Lösung. **Tabelle 5** zeigt die detaillierten Gesamtkosten für beide Batterielösungen.

Tabelle 5
Detaillierte
Gesamtkosten (TCO)

TCO	VRLA	Li-Ion	% Veränderung
Investitionskosten	€815	€1.230	Li-Ion: 51% mehr Investitionskosten als VRLA
Betriebskosten	€1.820	€0	Li-Ion: 100% weniger Betriebskosten als VRLA
GESAMT	€2.635	€1.230	Li-Ion: 53% weniger Gesamtkosten als VRLA

Sensitivitätsanalyse

Wir haben verschiedene Kostenfaktoren unabhängig voneinander verändert, um die Variabilität und Größenordnung der Auswirkungen auf die Gesamtkosten zu analysieren. So haben wir beispielsweise die VRLA-Zykluslebensdauer von 3 auf 7 Jahre erhöht, wodurch sich Veränderungen bei den Einsparungen der Gesamtkosten zwischen 29% (1 x Austausch der VRLA-Batterie) und 65% (3 x Austausch der VRLA-Batterie) ergaben.

Die beiden wichtigsten Faktoren für VRLA-Austauschzyklen sind die Temperatur und die Lade-/Entladezyklen.

Die Sensitivitätsanalyse hat ergeben, dass die folgenden Faktoren den Gesamtkostenvergleich zwischen VRLA- und Li-Ion-Technologie am meisten beeinflussen:

- VRLA-Zykluslebensdauer
- USV-Lebensdauer

Dabei ist zu beachten, dass jeder dieser Faktoren unabhängig von den anderen die Gesamtkosten der jeweiligen Batterievariante beträchtlich beeinflussen kann. Eine Kombination mehrerer dieser Faktoren kann jedoch die Entscheidung zugunsten der einen oder anderen Variante beeinflussen. Insbesondere die VRLA-Zykluslebensdauer (die kürzer ist als bei der Li-Ion-Variante) ist in Kombination mit der USV-Lebensdauer von großer Bedeutung. So erfordert beispielsweise eine VRLA-Lebensdauer von 4 Jahren in Kombination mit einer USV-Lebensdauer von 8 Jahren nur einen einzigen Batterieaustausch. Verlängert sich hingegen die USV-Lebensdauer nur um 2 Jahre, muss die VRLA-Batterie zweimal ausgetauscht werden, sodass sich ein wesentlicher Kostenvorteil für die Li-Ion-Variante ergibt.

In den Investitionskosten dieses Modells ist ein zusätzliches externes Batteriemodul berücksichtigt, das in der VRLA-USV zum Einsatz kommt, um die vergleichsweise längere Autonomiezeit der Li-Ion-Variante auszugleichen. Vergleicht man die Systeme nur auf Basis ihrer Standard-Autonomiezeit (VRLA-USV: 5 Minuten, Li-Ion-USV: 19 Minuten), ergeben sich für die VRLA-Variante wesentlich günstigere Gesamtkosten (TCO).

Fazit

Die Preise für Lithium-Ionen-Batterien werden weiter fallen. Zudem kommen neue Technologien und chemische Zusammensetzungen auf den Markt und die aktuellen Systeme werden weiter verbessert. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung und angesichts der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalysen in diesem Dokument wird deutlich, dass Lithium-Ionen-Batterien für einphasige USV-Systeme beeindruckende Vorteile bieten. Noch sind die Preise von einigen Li-Ion-Systemen zu hoch, um einen Austausch von VRLA-Systemen zu rechtfertigen. Einige andere Li-Ion-Systeme schneiden bei einem Vergleich der Gesamtkosten über zehn Jahre jedoch besser ab.



Über die Autoren

Victor Avelar ist Director und Senior Research Analyst im Schneider Electric Data Center Science Center. Er ist verantwortlich für das Design und die Betriebsforschung von Rechenzentren und berät Kunden bei der Risikobewertung und den Entwurfspraktiken, um die Verfügbarkeit und Effizienz Ihrer Rechenzentrumsanlagen zu optimieren. Er hat einen Bachelorabschluss im Fach Maschinenbau des Rensselaer Polytechnic Institute und einen MBA des Babson College. Er ist Mitglied von AFCOM.

Martin Zacho ist Senior Engineer für Energy Storage Technologies bei Schneider Electric im Geschäftsbereich Secure Power, IT Business. Er hat einen Bachelorabschluss in Computer System Engineering von der University of Southern Denmark. Er begann seine Karriere bei Schneider Electric im Jahr 2000 (damals noch American Power Conversion), wo er mit Wasserstoffzellen arbeitete. Nach 3 Jahren wechselte er in den Bereich Firmware Control und FPGA Programmierung für die Symmetra Produktlinie. Seit 2008 befasst er sich mit den unterschiedlichsten Aspekten der Energiespeichertechnologie, wobei ein besonderer Fokus auf Speichertechnologien für große dreiphasige USV-Systeme liegt. In diesem Rahmen befasst er sich vor allem mit Bleisäurebatterien, Superkondensatoren, Schwungrädern (Flywheels) und verschiedenen Lithium-basierten Energiespeichern. Martin Zacho ist Mitglied im Danish Standardization Committee und dort für Energiespeicher zuständig.



 [Die verschiedenen Arten von USV-Systemen](#)
White Paper 1

 [Battery Technology for Data Centers and Network Rooms:
Lead-Acid Battery Options](#)
White Paper 30

 [Battery Technology for Data Centers and Network Rooms:
VRLA Reliability and Safety](#)
White Paper 39

 [Lead Acid Battery Lifecycle: Terms and Definitions](#)
White Paper 230

 [FAQ zur Verwendung von Lithium-Ionen-Batterien in USV-Systemen](#)
White Paper 231

 [Alle White Paper anzeigen](#)
whitepapers.apc.com

 [Lithium-ion vs. VRLA Battery Comparison Calculator](#)
TradeOff Tool 19

 [Alle](#)
tools.apc.com

Kontaktieren Sie uns

Bei Feedback und Anmerkungen zum Inhalt dieses Whitepapers wenden Sie sich bitte an:

Data Center Science Center
dcsc@schneider-electric.com

Wenn Sie Kunde sind und bestimmte Fragen zu Ihrem Datacenter-Projekt haben:

Wenden Sie sich an Ihre Schneider Electric-Vertretung. Kontaktdetails unter:
www.apc.com/support/contact/index.cfm