

Ersatz von Blei (Pb)-Batterien durch Lilon/LiFePO₄-Batterien für den Einsatz in batteriebetriebenen Transportfahrzeugen, Campern und Booten

In Industrie und Intralogistik sind seit langem batteriebetriebene Transportfahrzeuge, z.B. fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) im Einsatz. Dabei wurden die Fahrzeuge oft mit Pb-Batterien ausgestattet. Bei vielen älteren Fahrzeugen sollen nun die Pb-Batterien durch eine aktuelle Version von Lilon-Batterien ersetzt werden. Dies gilt auch für Camper und Boote.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Chancen und Risiken beim Austausch des Batteriesystems von Blei auf Lilon/ LiFePO₄.

Aktueller Stand

Viele Bestandsfahrzeuge wurden für Pb-Batterien konstruiert und mit diesen ausgestattet. Dabei wurden Standard Batterieblöcke mit einer Spannung von 12 V verwendet. Diese Batterieblöcke werden seriell zusammengeschaltet, um die geforderte Systemspannung (z.B. 24 V oder 48 V) zu erzielen. Ebenfalls ist eine parallele Verschaltung möglich, um die Kapazität zu erhöhen. Diese einzelnen Batterieblöcke sind oft an verschiedenen Stellen im Fahrzeug verbaut und mit Kabeln verbunden.

Probleme bei Pb-Batterien

Der Einsatz von Pb-Batterien ist eine günstige Lösung, die aber auch einige Probleme birgt:

- ⇒ Pb-Batterien werden durch Tiefentladung geschädigt. Dadurch steht nicht die volle Nenn-Kapazität zur Verfügung.
- ⇒ Pb-Batterien sind nicht schnellladefähig, was lange Ladezeiten erfordert, in denen das Fahrzeug nicht zur Verfügung steht.
- ⇒ Zur Pflege der Batterie sind regelmäßige Service-Ladungen notwendig. Auch in diesen Zeiten steht das Fahrzeug nicht zur Verfügung.
- ⇒ Der Ladezustand wird nur über die aktuelle Spannung ermittelt. Dies führt zu Ungenauigkeiten, die ein optimales Flottenmanagement verhindern.

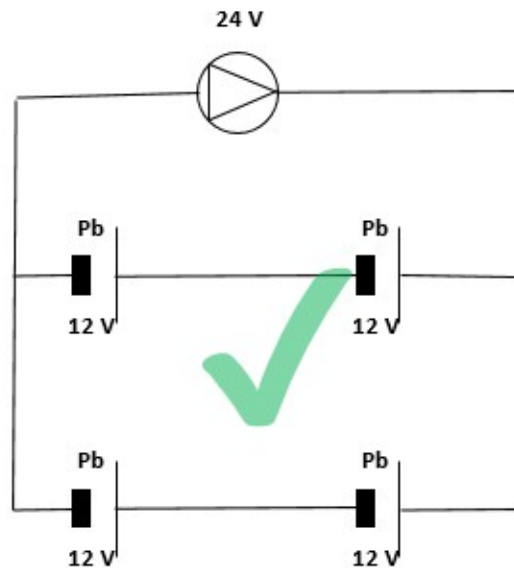


Bild 1: Parallele und serielle Verschaltung von Pb-Batterien.

Ersatz durch Lilon/LiFePO₄-Batterie

Muss die Pb-Batterie ausgetauscht werden oder ist eine Erhöhung der Kapazität erforderlich, kann der Einsatz eines Lilon/LiFePO₄ Batteriesystems sinnvoll sein.

Diese neueste Batterietechnologie bietet dabei einige Vorteile:

- ⇒ Die Lilon/LiFePO₄-Batterien weisen ein geringeres Gewicht auf.
- ⇒ Die Lilon/LiFePO₄-Batterien haben ein kleineres Volumen. Der gewonnene Bauraum kann durch mehr Batterien genutzt werden. Die Batteriekapazität kann dabei erhöht werden.
- ⇒ Die Lilon/LiFePO₄-Batterien können mit höheren Ladeströmen geladen werden. Dadurch werden die Ladezeiten reduziert und das Fahrzeug hat eine höhere Verfügbarkeit.
- ⇒ Die Lilon/LiFePO₄-Batterien können auch effizient zwischengeladen werden. Die Verfügbarkeit des Fahrzeuges wird dabei verlängert.
- ⇒ Bei der Ladung von Lilon/LiFePO₄-Batterien entsteht kein Wasserstoff. Die Ladung kann an einer beliebigen Stelle erfolgen.

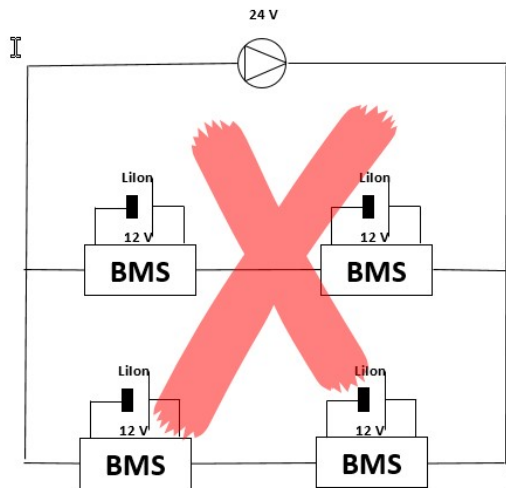


Bild 2: Parallele und serielle Verschaltung von Lilon/LiFePO₄-Batterieblöcken. Die Lilon/LiFePO₄-Batterieblöcke sind jeweils mit einem BMS ausgestattet.

Besonderheiten von Lilon/LiFePO₄ Batterien

Für den Betrieb von Lilon/LiFePO₄-Batterien ist eine Schutzelektronik erforderlich. Diese Schutzelektronik, oder auch Batterie Management System (BMS) genannt, verhindert, dass die Batterie einen kritischen Zustand erreicht. Dabei werden Parameter wie

- ⇒ Strom (Lade- und Entladestrom)
- ⇒ Überspannung
- ⇒ Unterspannung
- ⇒ Temperatur

gemessen und gegebenenfalls wird die Batterie über ein Schaltelement (Relais oder MOSFET) abgeschaltet.

Die Batterie schützt sich dabei selbst und geht im kritischen Fall in einen sicheren Zustand.

Das BMS ist aber auch in der Lage, die Restkapazität genau zu bestimmen und alle ermittelten Werte über ein Kommunikationsprotokoll (z.B. CAN-Bus, CANopen, Profinet) an die Applikation zu melden. Als hilfreiche Werte sind z.B. die Zyklenanzahl oder Betriebsstunden der Batterie zu nennen.

Über ein Balancing-System werden alle Zellen auf dem gleichen Ladezustand gehalten. Das führt zu einer optimalen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Energie.

Eine spezielle Serviceladung, wie bei Pb-Batterien erforderlich ist bei Lilon/LiFePO₄-Batterien nicht notwendig. Das passive

Balancing arbeitet bei jedem Ladevorgang, das aktive Balancing immer.

Besonderheiten beim Zusammenschalten von Standard-Lilon/LiFePO₄ Batterien

Die Batterieindustrie hat speziell für den Ersatz von 12 V Pb-Batterien Systeme auf Lilon/LiFePO₄-Basis entwickelt, die den Formfaktor der Pb-Batterien abbilden. In diesen Ersatzbatterien sind 4 Zellen seriell verschaltet und es ist ein BMS verbaut, welches die Schutzfunktion übernimmt. Für den Ersatz einer 12 V Pb-Batterie ist dies ein sinnvoller Austausch. Werden aber mehrere Lilon/LiFePO₄-Batterien (Batterieblöcke) zusammenschaltet führt dies meist zu Problemen, die auch die Sicherheit beeinflussen.

- ⇒ Bei serieller Verschaltung wird die Spannung erhöht. Dafür ist das BMS meist nicht ausgelegt und das BMS kann zerstört werden. Dadurch gibt es keinen Schutz mehr durch das BMS.
- ⇒ Bei paralleler Schaltung kann es sowohl beim Laden wie beim Entladen zum Abschalten eines Batterieblocks kommen. Der maximale Ladestrom wird dann auf den verbleibenden Batterieblock geleitet; dies kann unzulässige Überströme zur Folge haben. Der Entladestrom bewirkt dann einem Überstrom in dem verbleibenden Batterieblock und die Abschaltung, obwohl noch Energie in der Batterie steckt.
- ⇒ Jedes BMS kommuniziert seine Werte und diese müssen konsolidiert werden.
- ⇒ Bei einer Abschaltung unter Last besteht die Gefahr, dass die Schalter (z.B. Relais, MOSFET) den Belastungen nicht standhalten, da sie nur für den Strom eines Batterieblocks ausgelegt sind.
- ⇒ Die Restkapazität kann nicht oder nur ungenau angegeben werden.
- ⇒ Die Zyklenanzahl ist nicht definiert, wenn gebrauchte und neue Blöcke zusammen verbaut werden.
- ⇒ Beim Zusammenschließen von Batterieblöcken mit unterschiedlichen Ladezuständen kommt es zu erheblichen Ausgleichsströmen, welche die Batterien schädigen können.
- ⇒ Unterschiedlich lange Verbindungskabel zwischen den Batterieblöcken erzeugen unterschiedliche Widerstände und damit

ungleiche Ladung/Entladung der Batterieblöcke.

- ⇒ Ein Balancing funktioniert nur innerhalb eines Batterieblocks, daher entsteht ein Ungleichgewicht und die zur Verfügung stehende Kapazität wird gemindert, da die Batterieblöcke unterschiedliche Ladezustände haben. Dieses Verhalten verstärkt sich über die Zyklierung.

Stellenwert des Lilon/LiFePO₄ Zellbalancing

Bei einer Serienschaltung von Lilon/LiFePO₄-Einzelzellen in einem Batteriepack besteht der Bedarf, die Zellen untereinander auszugleichen (Balancing). Der Zelloffset kommt auf Grund von kleinen Impedanzunterschieden in den Zellen zustande, die bei Lilon/LiFePO₄-Zellen Fertigungsbedingt sind. Durch das Balancing wird dieser Effekt ausgeglichen. Im Falle eines nicht vorhandenen Balancingsystems wird die Nutzungsdauer der Kapazitätsdrift zwischen den Einzelzellen immer größer. Dies bedingt eine Kapazitätsabnahme des gesamten Batteriepacks, da die Gesamtkapazität auf der Kapazität der Zelle mit der größten Disbalance beruht.

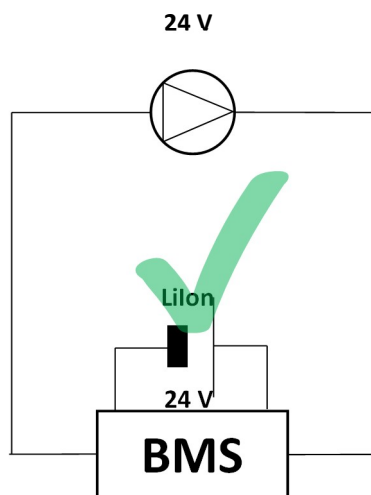


Bild 3: Die einzelnen Lilon/LiFePO₄-Zellen sind jeweils im Batterieblock parallel und seriell verschaltet.

Autoren:

Dipl. Ing. Pechloff, Rolf; Leiter Vertrieb Batteriepacks bei Diehl & Eagle-Picher GmbH, 90552 Röthenbach

M.Sc. Bauer, Maximilian; Geschäftsführer aia automations institut GmbH an der OTH Amberg-Weiden, 92224 Amberg

Der Lilon/LiFePO₄-Batterieblock ist mit nur einem BMS ausgestattet, das alle Funktionen übernimmt.

Technisch korrekte Lösung

Für eine sichere und technisch saubere Lösung ist es erforderlich, das die Austauschbatterie wie eine Batterie aufgebaut ist. Diese besteht aus einem Zellblock und einem BMS. Das BMS sichert die komplette Batterie ab und kommuniziert die erforderlichen Batteriewerte weiter. Das Balancing wirkt auf die ganze Batterie und gleicht alle Zellen aus. Gegenüber Pb-Batterien benötigt die Lilon/LiFePO₄-Technologie nur die Hälfte des Volumens. Falls erforderlich kann mit einem Umstieg auf die Lilon/LiFePO₄-Technologie die Kapazität der Batterie erhöht werden. Die Batterie sollte dabei in einem eigenen Gehäuse verbaut sein. Die Sicherheitsabschaltung findet dann innerhalb des Gehäuses statt. Die entsprechenden Schalter werden auf die Anforderungen der gesamten Batterie ausgelegt. Durch diese Maßnahmen können auch Anforderungen von Normen wie z.B. DIN EN ISO 13849-1 (Maschinenrichtlinie) mit einem Performance Level von C bzw. D erreicht werden.

Die Firma Diehl & Eagle-Picher in Röthenbach bei Nürnberg hat sich mit ihrem Produktsystem auf einen flexiblen, modularen Aufbau von Lilon/LiFePO₄-Batterien spezialisiert. Dabei werden die Batterien an die Anforderungen des Kunden individuell angepasst. Durch die Fertigung in Deutschland können auch bei kleineren Stückzahlen die spezifischen Anforderungen an die Batterie gezielt umgesetzt werden. Durch das selbst entwickelte BMS können z.B. Anforderungen an die Kommunikation (CAN, CANopen, Profinet) einfach an das bestehende System adaptiert werden.