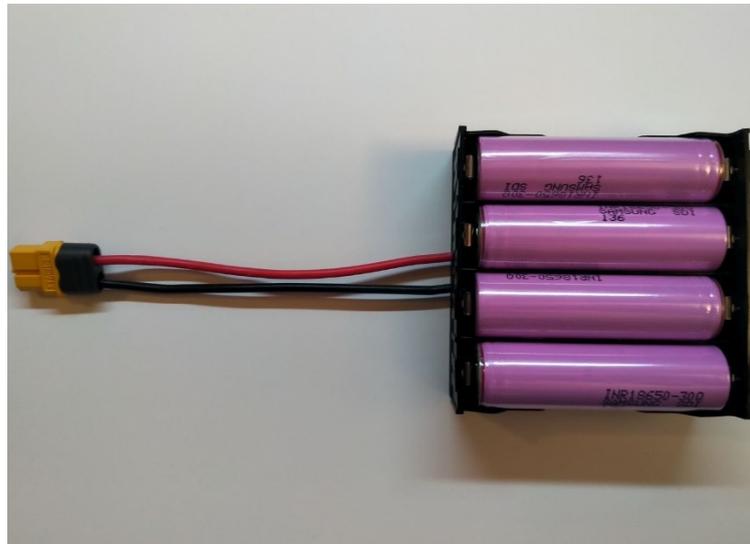


14,4 V Akkupack mit BMS

***Eigenbau eines Li-Ionen Akkupacks für
14,4 V und 3000 mAh (Version 2)***



Christoph Schwärzler, OE1CGS

November 2019

Abstract

This documentation shows in detail how to build a lightweight battery pack for a multitude of mobile operations.

It includes a battery management system (BMS) to protect the Li-Ion cells and ensure their balanced charging.

At a nominal voltage of 14.4 V and a capacity of 3000 mAh the pack weighs about 75 g without and 260 g including the cells.

In fact, this is my second version of such a battery pack. The first one had an even higher degree of DIY1. As the bottom part is 3D-printed, you will need access to a 3D-printer. The remaining material costs are less than 30 € (including batteries) and it will take you about 1 hour to build the pack.

Zusammenfassung

Die vorliegende Dokumentation beschreibt den Selbstbau eines leichten Akkupacks für mobile Anwendungen.

Er beinhaltet auch eine Schutz- und Balancierschaltung (BMS) für die Li-Ionen Akkus.

Bei einer Nominalspannung von 14,4 V und einer Kapazität von 3000 mAh wiegt die leere Halterung ganze 75 g, mit Akkus sind es knapp 260 g.

In diesem Dokument wird meine zweite Version eines derartigen Akkupacks beschrieben. Die erste Version, mit einem noch höheren Anteil an Eigenleistung wurde ebenfalls dokumentiert¹. Die Herstellung des Bodenteils bedingt Zugang zu einem einfachen 3D-Drucker. Die übrigen Materialkosten liegen unter 30 € (inklusive Akkus). Für den Bau sollte ungefähr eine Arbeitsstunde veranschlagt werden.

1.) Motivation

Die technologischen Fortschritte der letzten Jahre bei Akkumulatoren bieten speziell für den mobilen und portablen Einsatz neue Möglichkeiten. Insbesondere die Li-Ionen Technologie weist inzwischen bei leistbaren Preisen eine hervorragende Energiedichte auf. So speichert der hier beschriebene Akkupack rund die Hälfte der Energie eines herkömmlichen 12 V, 7 Ah Blei-Vlies-Akkumulators, bringt aber mit 260 g gegenüber 2,5 kg nur gut 10% der Masse mit sich. Speziell Li-

ionen Akkus des Typs 18650 sind inzwischen sehr weit verbreitet und günstig zu erwerben.

Allerdings stellt die Li-Ionen Technologie höhere Anforderungen an die Ladeelektronik und ist auch empfindlicher gegenüber einer Überschreitung der Lade- oder Entladegrenzen. Letzteres wird teilweise durch eine, in die Zellen integrierte Schutzschaltung adressiert, die allerdings auf Kosten der Kapazität geht und auch das erforderliche „Balancieren“ der einzelnen Zellen beim Laden nicht übernehmen kann. Dies wiederum können neuere Ladegeräte, die mit speziellen „Sensing“ oder „Balancing“ Eingängen versehen, eine ausgeglichene Ladung mehrerer, in Serie verbauter Zellen sicherstellen.

Ideal ist es jedoch, wenn der Akkupack selbst, wie hier beschrieben, direkt mit einem Batteriemanagementsystem (BMS) ausgestattet wird. Dieses schützt sowohl vor Über- als auch Tiefentladung, begrenzt den Strom, schützt vor Kurzschluss und sorgt dafür, dass alle Zellen gleichmäßig geladen werden. Derartige BMS sind inzwischen als fertig bestückte Platine für wenig Geld erhältlich und bringen nur einige Gramm auf die Waage. Es macht also Sinn, sie direkt in den Akkupack zu verbauen um die Zellen bestmöglich zu schützen. Das in diesem Projekt verbaute BMS ist für unter 3 € im Chinaversandhandel erhältlich².

Das Ziel, einen stabilen und handlichen Akkupack zu bauen, wird dadurch erreicht, dass eine fertige Halterung für die 18650er Zellen mit einem Schutz für das BMS kombiniert wird. Dieses befindet sich in einem abgeschlossenen Fach mit nur 10 mm Höhe direkt unter der Halterung für die Akkus. Mit 4 Schrauben werden die beiden Teile aneinander fixiert. Diese Fach wurde mit einem CAD-System entworfen und auf einem einfachen FDM 3D-Drucker erstellt.

Der komplette Akkupack hat die Außenmaße 78 mm x 79 mm x 30,5 mm. Die Nennspannung beträgt 14,4 V, die Kapazität ist 3000 mAh. Vorsicht ist bei spannungsempfindlichen Verbrauchern geboten, denn ein frisch geladener Akkupack kann schon einmal 16,2 V Spannung aufweisen. Die Strombelastbarkeit der Zellen wird mit 20 A angegeben, während das benutzte BMS dauerhaft 30 A akzeptiert. Bei meinem Einsatzzweck treten maximale Ströme von ca. 10 A auf (Amateurfunksender in Verbindung mit einem 50 W PA). Dafür sind auch die Querschnitte der Verbindungsleitungen dimensioniert. Allerdings wären die Akkus bei diesen Strömen in weniger als 20 Minuten leer. Bei Beschränkung auf QRP-Betrieb liegt der Strom selbst im Sendebetrieb unter 2A, womit man bei einem üblichen RX/TX-Verhältnis auf mehrere Stunden Betrieb kommt.

2.) Material und Aufbau

In diesem Abschnitt werden die Vorbereitungen sowie der Zusammenbau des Akkupacks detailliert beschrieben und anhand von Fotos dokumentiert.

Diese Version des Akkupacks baut auf einer fertigen Halterung (siehe Bild 1) für Akkus vom Typ 18650 auf³. Dadurch wird einerseits der Zusammenbau beschleunigt, andererseits ist aber auch die Federwirkung dieser käuflichen Halterung deutlich stärker als diejenige beim Aufbau mit den einzelnen Batterieclips (vgl. die Version 1).



Bild 1: Halterung für 4 Zellen vom Typ 18650, die roten Pfeile markieren die Punkte, durch welche gebohrt wird

Tatsächlich ist die Federwirkung so stark, dass es mühsam ist, die Akkus wieder heraus zu nehmen. Am besten ist, sie bleiben drin. Will man die Akkus öfter wechseln, so wäre zu überlegen, eine dünne Schnur oder ein Stoffband zu unterlegen oder aber die Version 1 dieses Akkupacks herzustellen.

Für den Bau des Akkupacks wird insgesamt das folgende Material benötigt:

- Halterung für 4 Zellen vom Typ 18650
- 3D-Druckteil (Unterteil)
- BMS-Modul
- 4 Li-Ionen Akkus vom Typ 18650
- 10 cm isolierter Elektrodraht 1,5 mm²
- Je 20 cm Litzendraht 2,5 mm², Rot und Schwarz
- 4 Holzschrauben, 2,9 mm x 9,5 mm
- Werkzeug und Montagematerial: Modellbaumesser, Feile, Lötkolben mit breiter Spitze ca. 50 W, Lötzinn, Epoxydkleber schnellhärtend, Bohrer 3 mm, evtl. Heißklebepistole und -kleber

Das Design des 3D-Druckteils steht im WWW zum Download zur Verfügung⁴. Im Allgemeinen sollte es ausreichen, das Teil aus dem leicht zu verarbeitenden PLA Material herzustellen. Damit gelingt die Erstellung sogar auf Druckern ohne beheizbare Grundplatte. Die vorhandenen Löcher im Unterteil können durch simples Nachbohren mit einem 3 mm Bohrer gesäubert werden. Danach sollten die 2,5 mm² Litzendrähte durch die Löcher passen.

Die bereits vorhandenen Befestigungslöcher in der Halterung befinden sich direkt unter den Akkus, so dass Schrauben in diesen Löchern das Einlegen der Zellen behindern kann. Sie werden daher nicht genutzt.

Dafür werden 4 neue Löcher mit 3 mm Durchmesser gebohrt, durch welche später die Halterung mit dem Unterteil verschraubt wird. Diese Löcher werden durch die Mitte der vorhandenen, inneren Markierungen der beiden außenliegenden Batteriefächer gebohrt, wie sie in Bild 1 durch die roten Pfeile gekennzeichnet sind. Diese Löcher sind jetzt genau oberhalb der entsprechenden Gegenstücke im gedruckten Unterteil.

Bei der genauen Betrachtung der Halterung fällt auf, dass zwei der vier Batteriefächer nur eine Polbezeichnung (⊕, ⊖) aufweisen, während die anderen beiden jeweils zwei entgegengesetzte Markierungen besitzen. Diese sind dann auch mit „PARALLEL“ und „SERIES“ bezeichnet. Dadurch kann die Halterung sowohl für eine Parallelschaltung von vier Zellen (höhere Stromstärke) als auch Serienschaltung (höhere Spannung) eingesetzt werden. Wir wollen eine Spannung von 14,4 V und damit die Serienschaltung. Die Akkus müssen also später antiparallel eingesetzt werden, also in den beiden Fächern mit Beschriftung jeweils nach den Zeichen in der Zeile von „SERIES“, in den beiden anderen Fächern so wie eindeutig vorgegeben.

Im nächsten Arbeitsschritt werden auf der Rückseite der Halterung Batterieclips so miteinander verlötet, dass die Zellen seriell verbunden sind. Es wird also zwischen den Batterien jeweils ein Plus- mit dem Minuspol der folgenden Batterie verbunden. Der allererste und der allerletzte Pol bleiben vorerst frei. Dafür sind drei Drahtbrücken mit einem ordentlichen Querschnitt erforderlich, die z.B. aus handelsüblichem 1,5 mm² Elektrodraht hergestellt werden können. Wichtig ist, dass die Drähte, wie in Bild 2 ersichtlich, von innen an die Lötflächen der Clips gelötet werden und zuvor die Lötflächen, falls erforderlich senkrecht zurechtgebogen werden. Denn auf der Außenseite muss später das Unterteil Platz finden.

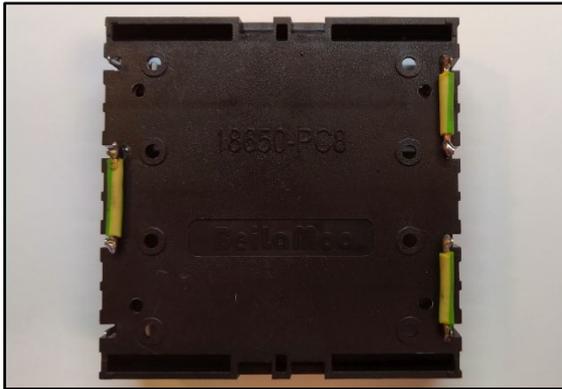


Bild 2: Auf der Rückseite der Halterung werden die Verbindungen zwischen den Batteriefächern verlötet

Nun gilt es, das BMS zu montieren. Zuvor macht es aber Sinn, sich mit der Funktionsweise bzw. Verdrahtung vertraut zu machen (siehe Bild 3). Das hier verwendete Modell ist explizit für den Betrieb mit 4 Li-Ionen Akkus (Bezeichnung „4S“) konzipiert.

Das BMS befindet sich zwischen den Akkus und dem Verbraucher/Ladegerät und erfüllt mehrere Funktionen. Beim Laden schützt es vor Überladung, beim Entladen vor Unterspannung und vor einem zu hohen Entladestrom. In all diesen Fällen trennt das BMS die Akkus ab und erlaubt eine Inbetriebnahme erst wieder unter normalen Betriebsparametern. Zur Erfüllung dieser Aufgaben wird der Pluspol sämtlicher, in Serie geschalteter Akkus mit dem „B+“ Löt-pad verbunden, der Minuspol mit dem „B-“ Pad. Die Plusleitung zu Verbraucher/Ladegerät muss mit „P+“ verbunden sein und die Minusleitung mit „P-“.

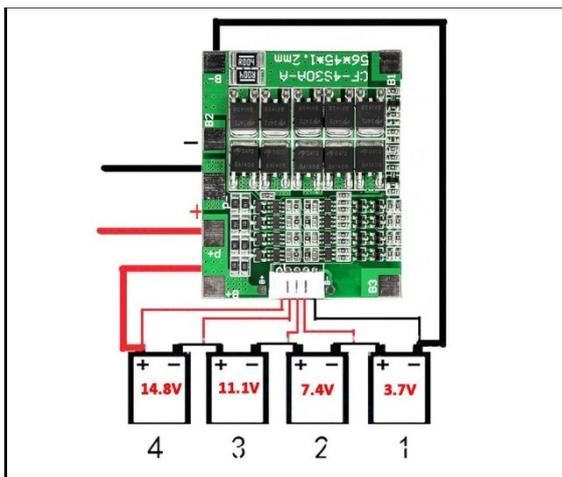


Bild 3: Anschlusschema der BMS-Platine. Auf den Anschluss der hier eingezeichneten ersten und letzten Steuerleitung kann verzichtet werden, da diese bereits intern verbunden sind

Um nun aber auch die gleichmäßige Ladung der einzelnen Zellen sicherzustellen, bedarf es der Balancierleitungen. Durch diese wird vom BMS beim Laden ein Widerstand gezielt zu den bereits stärker geladenen Zellen parallelgeschaltet, so dass

die anderen Zellen „aufholen“ können. Die erste und die letzte dieser Leitungen sind identisch mit dem Minus- bzw. Pluspol des gesamten Akkupacks und auch schon auf der Platine mit diesen verbunden. Sie können also weggelassen werden. Die mittleren drei Leitungen können entweder auf der Platine auf die Löt-pads „B1“, „B2“ und „B3“ gelötet werden, oder – etwas bequemer – unter Verwendung des mitgelieferten Steckers samt Kabeln, mit diesen. Das erste (schwarze) Kabel und das letzte rote Kabel sind hier aber überflüssig und können kurz am Stecker abgewickelt werden. Die übrigen (=mittleren) drei müssen aber korrekt angelötet werden.

Zur Montage des BMS finde ich es am besten, die Platine mit etwas Heißkleber auf der Unterseite der Halterung zu befestigen, wie dies in Bild 4 dargestellt ist. Dabei ist darauf zu achten, dass am Rand rundum ca. 2 mm frei bleiben, denn hier hinein muss später das Unterteil passen. Jetzt, aber auch bereits vor der Befestigung des BMS können die Verbindungskabel mit 2,5 mm² Querschnitt an B+/B- bzw. P+/P- angelötet werden.

Bei der Verkabelung der Steuerleitungen aus dem Stecker ist Aufmerksamkeit geboten. Das erste rote Kabel neben dem schwarzen (es ist identisch mit dem Löt-pad „B1“) muss an den Pluspol der ersten Zelle angeschlossen werden. Die erste Zelle ist diejenige, deren Minuspol gleichzeitig der Minuspol des gesamten Akkupacks ist. Am leichtesten geht dies, wenn dieses erste rote Kabel an ein Ende der Verbindungsleitung zwischen Zelle 1 und Zelle 2 angelötet wird, wie in Bild 4 rechts unten ersichtlich.



Bild 4: Nachdem das BMS an der Rückseite der Halterung befestigt ist, werden die Zu- und Steuerleitungen verkabelt

Das zweite rote Kabel geht zwischen die Zellen 2 und 3. In Bild 4 sieht man, wie es an das eine Ende der Verbindungsleitung in der Mitte der linken Seite gelötet ist.

Das dritte rote Kabel geht zwischen die Zellen 3 und 4 und wird daher an die entsprechende Verbindung gelötet (rechts oben in Bild 4).

Jetzt gilt es, die Drähte durch die Löcher des Unterteils zu ziehen und dieses aufzusetzen. Dabei muss darauf geachtet werden, keine Kabel zwischen den Montagesockeln für die Schrauben und dem Halter einzuklemmen.

Dann werden das Ober- und das Unterteil mit den vier Schrauben 2,9 x 9,5 mm zusammengeschaubt. Vorsicht beim Anziehen, damit die Schrauben nicht im Kunststoff durchdrehen.

Damit ist der Akkupack fertig montiert, zum Betrieb müssen nur mehr passende Akkus eingesetzt werden und gegebenenfalls ein passender Stecker an die beiden, nach außen geführten Kabel zu löten.

Es gibt eine Vielzahl, leider auch minderwertige, Li-Ionen Akkus vom Typ 18650 am Markt. Für den Akkupack werden Zellen ohne Lötflächen benötigt. Auch ist es nicht erforderlich, dass sie Schutzvorrichtungen eingebaut haben, denn auch dafür sorgt das BMS. Üblicherweise weisen derartige Akkus eine Nennspannung von 3,6 Volt auf. Die angeführte Kapazität geht auf bis zu rd. 3600 mAh. Aber genau bei der Kapazität scheidet es oft und die tatsächlichen Werte können sehr weit von den aufgedruckten entfernt sein. Dies trifft oft, aber nicht nur, auf no-name Produkte zu. So bleibt einem nichts anderes übrig, als selbst Zellen zu vermessen oder aber auf Mundpropaganda zu vertrauen.

Ein relativ leicht zu überprüfender Indikator für die Kapazität ist übrigens das Gewicht eines Akkus. Für eine Kapazität um die 3000 mAh sollte ein Akku schon rund 45 g bis 48 g wiegen. Mein erster Kauf waren Akkus mit einer angegebenen Kapazität von 3800 mAh, die aber nur 24 g auf die Waage brachten. Bei rd. 1600 mAh war dann aber auch schon Schluss!

Zufrieden bin ich mit Akkus von Samsung der Marke „INR18650-30Q“. Diese sind auch im passenden Viererpack zu kaufen⁵ und kommen mit selbst gemessenen, knapp 2900 mAh dem behaupteten Wert recht nahe.

Der fertig montierte und einsatzbereite Akkupack ist in Bild 5 gezeigt.

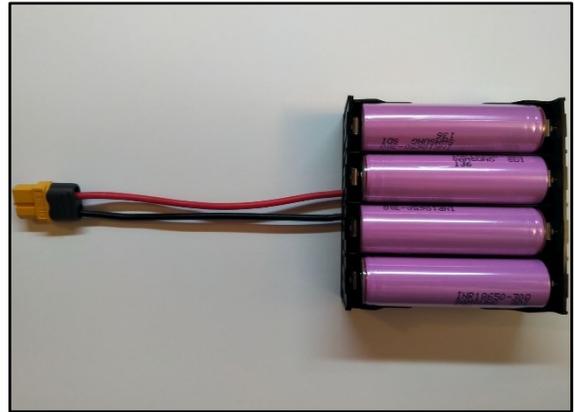


Bild 5: Fertiger Akkupack

3.) Betrieb

Durch das eingebaute BMS ist der Akkupack unkompliziert beim Laden und im Betrieb.

Die Ladung sollte mit einem konstanten Strom (bei Verwendung der Samsung Akkus sind dies 1,5A) erfolgen, bis eine Spannung von 4,2 V erreicht ist. Bei der Ladung mit einem speziellen Li-Ionen Ladegerät bleibt ein eventuell vorhandener Anschluss für das Balancing ungenutzt.

Beim Betrieb von Verbrauchern ist zu beachten, dass die Nominalspannung von 14,4 V deutlich über- und unterschritten werden kann. Ein vollgeladener Akku bringt durchaus einmal 16,2V und die Schutzautomatik schaltet erst bei ca. 11,0 V ab. Nicht alle Geräte können über den gesamten Bereich betrieben werden.

Bild 6 zeigt die gemessenen Daten einer Belastung mit 0,2 C, also ca. 600 mA. Anfänglich betrug die Spannung 16,1 V. Nach 5 Stunden und 6 Minuten sank die Spannung auf 11,0 V ab, wo das BMS abschaltete.

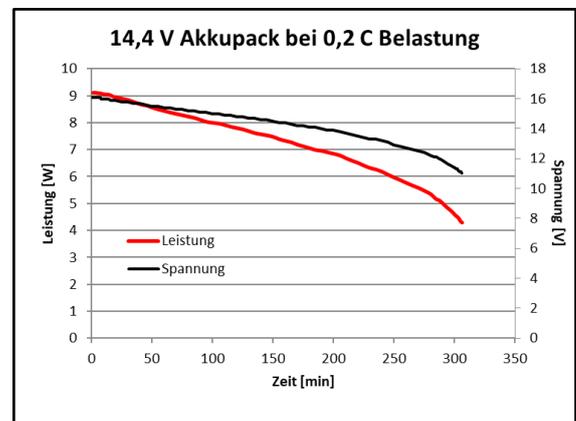


Bild 6: Messung bei einer Belastung des Akkupacks mit 0,2 C

Insgesamt gab der Akkupack bei diesem Test eine Energie von 37 Wh ab.

Da die Li-Ionen Zellen schnellladefähig sind (60 min mit 4 A), kann mit zwei Batteriesätzen bei Verfügbarkeit einer Lademöglichkeit in vielen Fällen ein durchgehender Betrieb sichergestellt werden.

Es muss noch erwähnt werden, dass das BMS auch bei Nichtbenutzung einen, wenn auch sehr geringen Leerlaufstrom zieht. Ich habe bei einer einzelnen Zelle einen Wert von rund 6 μ A gemessen. Das ist wenig genug, dass die Akkus auch längere Zeit in der Halterung verbleiben können, ohne stark entladen zu werden.

Anhang: Materialliste

Bezeichnung	Bezugsquelle	Kosten, ca.
Li-Ionen Akkus, Typ 18650, 4 Stk.	Banggood	21,84 €
Batterie-Halterung für 4 Zellen vom Typ 18650	Banggood	1,71 €
BMS, 4S 30A	Banggood	2,28 €
Kleinmaterial (Schrauben, Draht)	-	1,00 €

1 <http://www.oe1cgs.at/144-v-li-ionen-akkupack/> (Version 2)

2 https://www.banggood.com/4S-30A-14_8V-Li-ion-Lithium-18650-Battery-BMS-Packs-PCB-Protection-Board-Balance-p-1140544.html

3 https://www.banggood.com/4-Slots-18650-Battery-Holder-Plastic-Case-Storage-Box-for-43_7V-18650-Lithium-Battery-with-8Pin-p-1467989.html

4 <https://www.thingiverse.com/thing:4000289>

5 <https://www.banggood.com/4PCS-Samsung-INR18650-30Q-3000mAh-Unprotected-Button-Top-18650-Battery-With-Protected-box-p-1184782.html>