

# ***14,4 V Akkupack mit BMS***

***Günstiger Eigenbau eines Li-Ionen  
Akkupacks für 14,4 V und 3000 mAh***



***Christoph Schwärzler, OE1CGS***

*September 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 less than 80 g without and about 260 g including the cells.

As the case 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 ½ hours to build the pack.

## Zusammenfassung

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

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

Bei einer Nominalspannung von 14,4 V und einer Kapazität von 3000 mAh wiegt die leere Halterung ganze 80 g, bestückt mit Akkus sind es 260 g.

Die Herstellung des Gehäuses bedingt Zugang zu einem einfachen 3D-Drucker. Die übrigen Materialkosten liegen unter 30 € (inklusive Akkus). Für den Bau sollten ungefähr 1 ½ Stunden Arbeitszeit 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 erhältlich<sup>1</sup>.

Das Ziel, einen stabilen und handlichen Akkupack zu bauen, wird dadurch erreicht, dass eine Halterung für die 18650er Zellen entworfen wurde, die gleichzeitig und geschützt das BMS eingebaut hat. 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 Teile wurden mit einem CAD-System entworfen und auf einem einfachen FDM 3D-Drucker erstellt.

Der komplette Akkupack hat die Außenmaße 82 mm x 85 mm x 30 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.

Für den Bau des Akkupacks wird das folgende Material benötigt:

- 3D-Druckteile (Oberteil, Unterteil)
- Kontaktclips (4 x Feder, 4 x Kopf)
- BMS-Modul
- 4 Li-Ionen Akkus vom Typ 18650
- 30 cm isolierter Elektrodraht 1,5 mm<sup>2</sup>
- Je 20 cm Litzendraht 2,5 mm<sup>2</sup>, Rot und Schwarz
- 4 selbstschneidende Schrauben, 2,9 mm x 9,5 mm
- Werkzeug und Montagematerial: Modellbaumesser mit feiner Klinge, Feile, Lötkolben mit breiter Spitze ca. 50 W sowie Lötkolben mit feiner Spitze, Lötzinn, Epoxydkleber schnellhärtend, Bohrer 1,5 mm und 3 mm, evtl. Heißklebepistole und -kleber

Das Design der beiden 3D-Druckteile steht im WWW zum Download zur Verfügung<sup>2</sup>. Im Allgemeinen sollte es ausreichen, die Teile aus dem leicht zu verarbeitenden PLA - Material herzustellen. Damit gelingt die Erstellung sogar auf Druckern ohne beheizbare Grundplatte. Wenn möglich, sollte allerdings eine Auflösung von 0,1 mm gewählt werden, um die Details der Halterungen für die Kontaktclips möglichst gut zu erhalten. Jedenfalls muss das Oberteil mit einer Feile und einem feinen Messer (Federmesser) nachbearbeitet werden. Speziell die Halterung für die Kontaktclips müssen sowohl im Hintergrund glatt als auch speziell unterhalb der Schienen frei sein. Auch die Unterbrechung der Schienen in der Mitte, in welcher die Clips später einrasten, muss frei und sauber sein. Für diese Arbeiten hat sich eine Lupe oder Lupenbrille sehr bewährt. Das Unterteil benötigt normalerweise keine oder nur sehr einfache Nachbearbeitung der Oberfläche. Jedoch müssen die vorhandenen Löcher im Unterteil durch simples Nachbohren gesäubert werden. Die kleinen Löcher (3 Stück) werden mit einem Bohrer von 1,5 mm Durchmesser geweitet, die großen Löcher (4 Stück) mit 3,0 mm. Danach sollten die, mit dem BMS mitgelieferten Drähte durch die kleinen Löcher passen, der 1,5 mm<sup>2</sup> Elektrodraht und der 2,5 mm<sup>2</sup> Litzendraht durch die großen Löcher.

Im nächsten Arbeitsschritt werden die Batterieclips in die entsprechenden Halterungen auf der Innenseite des Oberteils eingeführt und dort verklebt. Leider habe ich keine speziellen Clips für 18650er Batterien gefunden. Aber Clips, welche an sich für AA bzw. AAA Batterien ausgewiesen sind, haben sich im praktischen Einsatz auch als tauglich

herausgestellt und sind sehr günstig zu bekommen<sup>3</sup>. Für diese Clips (Bild 1) sind auch die Halterungen im 3D-Druckteil entworfen.



*Bild 1: Diese Batterieclips werden in das Oberteil montiert*

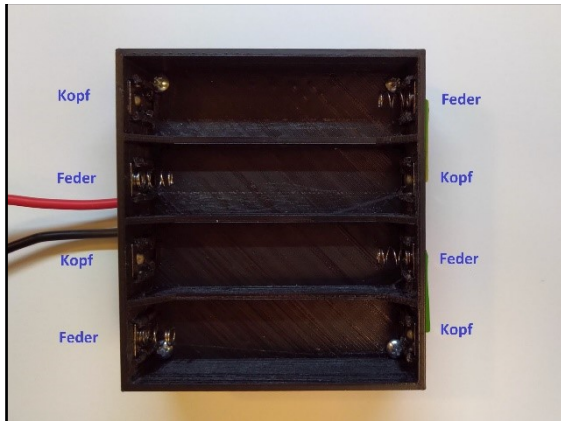
Die Clips kommen paarweise, das Teil mit der Feder wird später den Minuspol eines Akkus kontaktieren, der Pluspol berührt das Teil mit der Erhebung. In einem Fach stehen sich also immer zwei verschiedene Clips gegenüber.

Die Montage der Clips ist an sich einfach, sollte aber präzise durchgeführt werden. Wenn die Clips einmal in der Halterung sind, ist es sehr schwer sie wieder heraus zu bekommen. Es ist daher wichtig, deren Montageorte vorab korrekt festzulegen. Am besten, man legt sich die Clips links und rechts neben den Druckteil so, wie sie dann montiert werden.

Da die Akkus seriell geschaltet werden, ist es für die Verbindungen vorteilhaft, wenn benachbarte Akkus antiparallel eingesetzt werden. Das bedeutet, dass unter- bzw. oberhalb eines Clips im benachbarten Fach sich jeweils ein Clip der anderen Type befindet, damit der Pluspol eines Akkus leicht mit dem Minuspol des nächsten verbunden werden kann.

Auch muss sich der erste Minuspol (Feder) bei einer Draufsicht rechts oben befinden, denn dann kann das BMS später mit dem geringsten Verkabelungsaufwand montiert werden.

Aus Bild 2 ist ersichtlich, in welcher Anordnung die Clips montiert werden müssen.



**Bild 2:** In dieser Anordnung müssen sich die Batterieclips nach Fertigstellung befinden

Für die Montage werden neben dem Druckteil und den Clips auch ein kleiner Schraubendreher sowie schnellhärtendem, 2 Komponenten Epoxydkleber benötigt. Es geht auch ohne letzterem, allerdings besteht dann die Gefahr, dass ein Clip durch Brechen der Halterung lose wird. Um hier auf der sicheren Seite zu sein, fixiere ich mit Epoxydkleber.

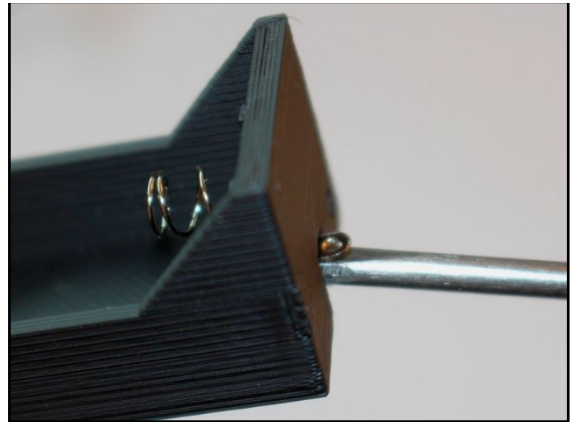
Ist alles bereitgelegt, wird der Epoxydkleber angerührt und z.B. mit einem Zahnstocher auf die Fläche, die später hinter dem ersten Clip sein wird, dünn aufgetragen. Dann wird der Clip mit dem Lötauge nach unten in die Halterung eingeführt. Jetzt kommt der Schraubendreher, wie in Bild 3 gezeigt zum Einsatz. Durch einen beherrzten Druck damit wird der Clip bis zum unteren Anschlag in die Halterung gedrückt. Die seitlichen Rippen rasten ein und die Oberkante des Clips sollte sich auf der gleichen Höhe wie die Oberkante der Halterung befinden.



**Bild 3:** Der Batterieclip wird mit einem Schraubendreher in die Halterung gedrückt (hier an einer Halterung für einen Akku demonstriert)

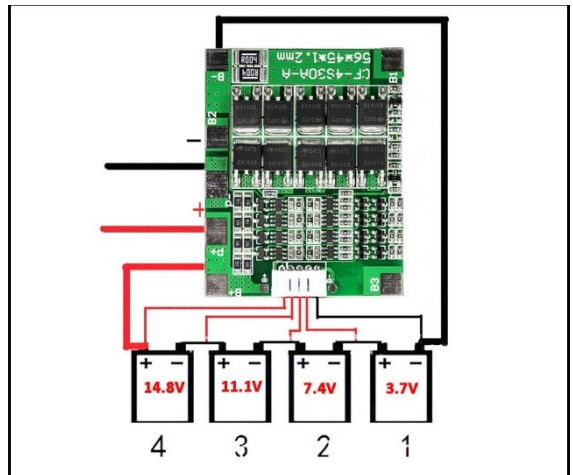
Danach wird die Fläche hinter dem zweiten Clip mit Kleber bestrichen und dieser montiert usw. Wenn zügig gearbeitet wird, ist es kein Problem mit einer Portion 5-Minuten Kleber alle Clips zu montieren.

Nach dem Aushärten des Klebers werden die Lötäuge um 90° nach außen gebogen (Bild 4). Sicherheitshalber halte ich dazu den jeweiligen Clip mit einer Zange an die Wand gepresst, um ein Ausreißen der Halterung zu verhindern.



**Bild 4:** Das Lötauge wird mit einem Schraubendreher um 90° abgebogen (hier an einer Halterung für nur einen Akku demonstriert)

Im nächsten Arbeitsschritt wird das BMS vorbereitet. Das Anschlussschema in Bild 5 zeigt, welche Verbindungen vorgenommen werden müssen.



**Bild 5:** Anschlussschema der BMS-Platine

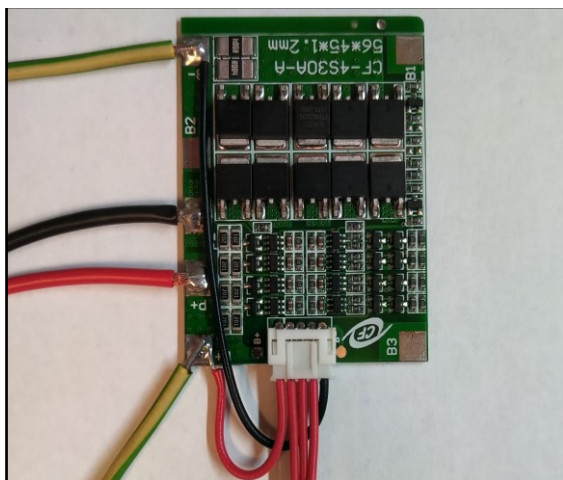
Über gut dimensionierte Löt pads werden sowohl die Leitungen zum Plus- und Minuspol des Akkupacks als auch zum Verbraucher angeschlossen. Dafür wird ein Löt Kolben mit einer vernünftigen Leistung (z.B 50 W) und vor allem einer breiten Meisselspitze (ca. 5 bis 8 mm) benötigt. Die Drähte zu den Akkus werden an die Pads mit den Beschriftungen „B+“ (Pluspol) bzw. „B-“ (Minuspol) angelötet. Ich verwende dafür und für die Verbindungen zwischen den einzelnen Akkus normalen Einziehdraht mit einem Querschnitt von 1,5 mm². Der passt perfekt in die Lötösen der Clips, lässt sich gut biegen und ist dann formstabil. Für die (längeren) Verbindungen zum Verbraucher benutze ich Litzendraht mit einem Querschnitt von



2,5 mm<sup>2</sup>. Durch die dünnere Isolierung ist dieser Draht mit rd. 2,8 mm Durchmesser praktisch gleich dick wie der Einziehdraht, aber flexibel. Die Leitungen zum Verbraucher sind auch gleichzeitig die Leitungen für das Laden des Akkupacks und werden auf die Pads „P+“ (roter Draht) bzw. „P-“ (schwarzer Draht) gelötet. Die Lötflächen mit den Bezeichnungen „B1“ bis „B3“ bleiben frei.

Auf der BMS-Platine befindet sich eine Buchsenleiste. Der dazu passende Stecker wird bereits verkabelt mitgeliefert und dient dem Anschluss der Balancierleitungen. Diese werden benötigt, um den Ladezustand jedes einzelnen Akkus zu erfassen und bei Ungleichgewichten durch Parallelschalten von Widerständen wieder eine gleichmäßige Ladung aller Akkus herbeizuführen (passives Balancing). Wie in Bild 5 ersichtlich, werden die beiden äußersten Kabel mit den Enden des Akkupacks verbunden und können daher auch gleich auf der Platine an die Lötflächen „B+“ (rote Leitung) und „B-“ (schwarze Leitung) mitgelötet werden. Die übrigen drei Leitungen müssen an die Verbindungen zwischen den einzelnen Akkus gelötet werden. Wichtig ist dabei, die jeweils korrekte Verbindung gemäß Bild 5 auszuwählen. So muss z.B. die erste rote Leitung neben der schwarzen später an die Verbindung zwischen dem ersten Akku (vom Minuspol beginnend) mit dem zweiten Akku gelötet werden.

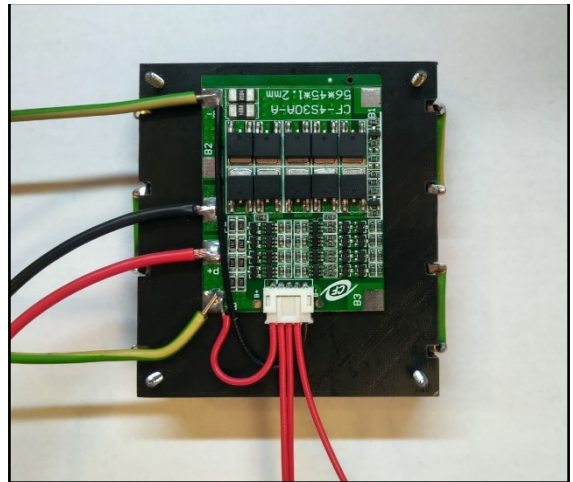
Vorerst werden jedoch nur die notwendigen Lötarbeiten auf dem BMS gemäß Bild 6 durchgeführt.



**Bild 6:** Die Verbindungen werden auf die Platine des BMS gelötet

Wenn der Draht an „B+“ (links unten in Bild 6) unter einem Winkel von 45° angelötet wird, kann er später leichter in die notwendige Position gebogen werden. Für die Einziehdrähte an „B+“ und „B-“ genügt jeweils eine Länge von rd. 50mm.

Nun wird das BMS auf die Rückseite des Oberteils gelegt und dort fixiert. Eine einfache Möglichkeit ist das flächige Aufkleben der Platine mit einem Heizkleber. Achtung auf die Position. Die Platine muss mindesten 2 mm von der Kante entfernt sein, damit später der Deckel mit seiner Wanddicke von knapp 2 mm aufgeschraubt werden kann. Bild 7 zeigt den idealen Platz für die BMS-Platine.



**Bild 7:** Fixieren der BMS-Platine auf der Unterseite des Oberteils

Wenn jetzt der Draht, der an „B+“ gelötet wurde, an der passenden Stelle um 45° nach außen gebogen wird, ist alles bereit zum Aufsetzen des Unterteils. Zuvor sollte nochmals überprüft werden, ob die Positionen der Drähte mit den Löchern im Unterteil übereinstimmen und groß genug sind.

Jetzt gilt es, die Drähte durch die Löcher des Unterteils zu fädeln. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei auf die roten, dünnen Drähte aus dem Stecker auf dem BMS zu richten. Diese müssen später unbedingt an die richtigen Verbindungen zwischen den Akkus gelötet werden und sollte daher jetzt durch die entsprechenden Löcher geführt werden.

Das schwarze Kabel aus dem Stecker ist ja bereits auf der Platine verlötet. Das benachbarte rote Kabel muss an die Verbindung zwischen dem ersten und dem zweiten Akku, sollte also durch ein kleines Loch auf derjenigen Seite des Unterteils geführt werden, auf welcher sich nur zwei kleine Löcher befinden. Und zwar das Loch, das sich nach erfolgter Montage des Unterteils näher am „B-“ (Minuspol) befindet. Das nächste, rote Kabel (das mittlere auf dem Stecker) geht durch das einzige kleine Loch auf der gegenüberliegenden Seite, wo sich sonst nur die großen Löcher befinden. Das dritte, rote Kabel geht wiederum auf die Seite mit den zwei kleinen Löchern, und zwar durch das zweite. Das letzte rote Kabel ist ja wiederum bereits auf der Platine verlötet.

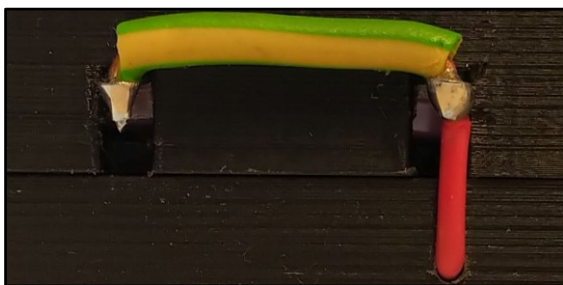
Das Unterteil wird nun so gerichtet, dass es mit der offenen Seite nach unten zum Oberteil hinzeigt und unter ständigem Nachziehen der Balancierleitungen soweit an das Oberteil angenähert, bis als nächstes die beiden Anschlussleitungen (rot und schwarz) durch die beiden mittleren, großen Löcher geführt werden. Schlussendlich bleiben nur mehr die beiden Drähte von „B+“ und „B-“, welche durch die korrespondierenden, großen Löcher geführt werden. Hier mag zuletzt etwas Druck notwendig sein, um das Unterteil plan auf das Oberteil zu bekommen.

Bevor Ober- und Unterteil endgültig zusammengeschraubt werden, ist es sinnvoll die zwei 1,5 mm<sup>2</sup> Einziehdrähte an den beiden Enden der einen Seite nach oben zu biegen. Jetzt werden sie so gekürzt und abisoliert, dass sie beim Zusammenschrauben in die darüber liegenden Lötösen passen.

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

Nun werden die gerade zurechtgebogenen und vorbereiteten Drähte in ihre Ösen gelötet. Hier bewährt sich ein LötKolben mit einer mittleren, spitz zulaufenden Spitze. Sämtliche verbliebenen Verdrahtungen zwischen den Akkus werden nun auf der Außenseite verlötet. Dazu werden aus einem ca. 10 cm langes Stück Einziehdraht 1,5 mm<sup>2</sup> drei Bügel geschnitten und in jeweils zwei benachbarte Ösen gelötet. Jeweils auf einer Seite der Bügel wird auch ein roter Draht aus dem BMS-Board dazu gelötet.

Eine Verbindung wird auf der Seite der roten und schwarzen Anschlussleitungen zwischen den mittleren beiden Lötösen erstellt, die beiden anderen Verbindungen auf der gegenüberliegenden Seite jeweils vom äußeren zum inneren Lötauge.



**Bild 8: Detail einer Verbindung inklusive Balanceleitung**

Bild 8 zeigt ein Beispiel, wie eine derartige Verbindung schlussendlich aussehen kann.

Damit ist der Akkupack fertig montiert, zum Betrieb müssen nur mehr passende Akkus eingesetzt werden. Wer sich Sorgen wegen der frei liegenden Lötverbindungen am Rand macht, kann dies leicht durch Umwicklung mit Isolierband beheben.

Es gibt eine Vielzahl, leider auch minderwertige, Lilonen Akkus vom Typ 18650 am Markt. Für den Akkupack werden Zellen ohne Lötflanschen 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 scheidert 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 kaufen<sup>4</sup> und kommen mit selbst gemessenen, knapp 2900 mAh dem behaupteten Wert recht nahe.

Der fertig montierte und einsatzbereite Akkupack ist in Bild 9 gezeigt.



**Bild 9: Fertiger Akkupack**

Sinnvollerweise wird an die beiden Anschlusskabel eine zum Verbraucher passende Buchse angeschlossen.

### 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. Natürlich ist die Ladung mit einem speziellen Ladegerät komfortabler, ein eventuell vorhandener Anschluss für das Balancing bleibt aber 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 10 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.

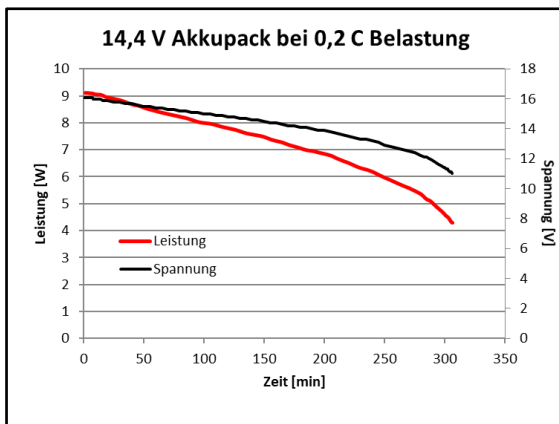


Bild 10: Messung bei einer Belastung des Akkupacks mit 0,2 C

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  $\mu$ 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-Kontaktclips, 4 Paare	Banggood	0,85 €
BMS, 4S 30A 8 mm, 8 Stk.	Banggood	2,28 €
Kleinmaterial (Schrauben, Draht)	-	1,00 €

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

2 <https://www.thingiverse.com/thing:3905901>

3 <https://www.banggood.com/10-Pairs-Silver-Tone-Metal-Battery-Spring-Plate-Set-for-AA-AAA-Batteries-p-1046111.html>

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