

Akkuweiche

Wilhelm Meier

Version 0.3, Mi 13. Feb 22:27:10 CET 2019

Inhalt

1. Symbolerklärung	1
2. Rechtliches	1
3. Sicherheitshinweise	1
4. Spezieller Sicherheitshinweis: Kleinteile	2
5. Übersicht	2
6. Generelles über das Parallelschalten von (mehrzelligen Akkus)	3
6.1. Welche Akkus kann man theoretisch parallel schalten?	3
6.2. Ausgleichsströme	3
6.3. Nickel-Metallhydrid (NiMh) Akku	4
6.4. Lithium-Polymer (LiPo) Akkus	4
6.4.1. Innenwiderstand	4
6.4.2. Ausgleichsströme	5
6.5. Lithium-Eisenphosphat (LeFePo4) Akkus und Blei-Akkus	5
6.6. Zusammenfassung	5
7. Leistungsdaten	6
8. Einbau	6
8.1. Anschluß der Akkus	6
8.2. Schutz	7
9. Funktion	7
10. Betrieb	8
11. Aufbau	9
11.1. Schrittweise Anleitung	11
11.2. Erste Inbetriebnahme	12
12. Kontakt	12

1. Symboлерklärung



Ein wichtiger allgemeiner Hinweis für den sicheren Aufbau und die sichere Bedienung. Dieser sollte durch den Anwender beachtet werden, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.



Ein genereller Hinweis, der durch den Anwender beachtet werden sollte.



Ein technischer oder sicherheitstechnischer Hinweis, der unbedingt durch den Anwender beachtet werden muss.



Ein technischer oder sicherheitstechnischer Gefahrenhinweis, der unbedingt durch den Anwender beachtet werden muss. Zur Gefahrenabwehrung muss der Anwender unbedingt die gegebenen Anweisungen befolgen und die beschriebenen Maßnahmen ergreifen.

2. Rechtliches

Der vorliegende Bausatz wird dem Anwender für eigene Experimente überlassen. Er stellt kein Produkt im Sinne des ProdHaftG oder elektronisches Gerät im Sinne des ElektroG dar und wird als Gerät nicht kommerziell vertrieben.

Die Überlassung gegen Unkostenersättigung erfolgt unter Ausschluss jeglicher Sachmängelhaftung.



Für den vorliegenden Bausatz werden keine Funktionsgarantien gegeben. Für Schäden am Bausatz oder an damit verbundenen Geräten oder Modulen wird keine Haftung übernommen. Gewährleistungen, Garantien und Widerrufsrechte gibt es nicht.

3. Sicherheitshinweise

Beim Umgang mit Produkten, die mit elektrischer Spannung in Berührung kommen, müssen die gültigen VDE-Vorschriften beachtet werden, insbesondere VDE 0100, VDE 0550/0551, VDE 0700, VDE 0711 und VDE 0860.

Werkzeuge dürfen an Geräten, Bauteilen oder Baugruppen nur benutzt werden, wenn sichergestellt ist, dass die Geräte von der Versorgungsspannung getrennt sind und elektrische Ladungen, die in den im Gerät befindlichen Bauteilen gespeichert sind, vorher entladen wurden.

Spannungsführende Kabel oder Leitungen, mit denen das Gerät, das Bauteil oder die Baugruppe verbunden ist, müssen stets auf Isolationsfehler oder Bruchstellen untersucht werden. Bei Feststellen eines Fehlers in der Zuleitung muss das Gerät unverzüglich aus dem Betrieb genommen werden, bis die defekte Leitung ausgewechselt worden ist. Bei Einsatz von Bauelementen oder Baugruppen muss stets auf die strikte Einhaltung der in der zugehörigen Beschreibung genannten Kenndaten für elektrische Größen hingewiesen werden. Wenn aus einer vorliegenden Beschreibung für den nicht gewerblichen Endverbraucher nicht eindeutig hervorgeht, welche elektrischen Kennwerte für ein Bauteil oder eine Baugruppe gelten, wie eine externe Schaltung durchzuführen ist oder welche externen Bauteile oder Zusatzgeräte angeschlossen werden dürfen und welche Anschlusswerte diese externen Komponenten haben dürfen, so muss stets ein Fachmann um Auskunft ersucht werden. Es ist vor der Inbetriebnahme

eines Gerätes generell zu prüfen, ob dieses Gerät oder Baugruppe grundsätzlich für den Anwendungsfall, für den es verwendet werden soll, geeignet ist!

Im Zweifelsfalle sind unbedingt Rückfragen bei Fachleuten, Sachverständigen oder den Herstellern der verwendeten Baugruppen notwendig!

Bitte beachten Sie, dass Bedien- und Anschlussfehler außerhalb unseres Einflussbereiches liegen. Verständlicherweise können wir für Schäden, die daraus entstehen, keinerlei Haftung übernehmen. Bei Installationen und beim Umgang mit Netzspannung sind unbedingt die VDE-Vorschriften zu beachten. Geräte, die an einer Spannung über 35 V betrieben werden, dürfen nur vom Fachmann angeschlossen werden. In jedem Fall ist zu prüfen, ob der Bausatz oder die Platine für den jeweiligen Anwendungsfall und Einsatzort geeignet ist bzw. eingesetzt werden kann.

Derjenige, der eine Schaltung oder einen Bausatz aufbaut und fertigstellt oder eine Baugruppe durch Erweiterung bzw. Gehäuseeinbau betriebsbereit macht, gilt nach DIN VDE 0869 als Hersteller und ist verpflichtet, bei der Weitergabe des Gerätes alle Begleitpapiere mitzuliefern und auch seinen Namen und Anschrift anzugeben. Geräte, die aus Bausätzen selbst zusammengestellt werden, sind sicherheitstechnisch wie ein industrielles Produkt zu betrachten.

Für alle Personen- und Sachschäden, die aus nicht bestimmungsgemäßer Verwendung entstehen, ist nicht der Hersteller sondern der Betreiber verantwortlich. Bitte beachten Sie, das Bedien- und/und Anschlussfehler außerhalb unseres Einfußbereiches liegen. Verständlicherweise können wir für Schäden, die daraus entstehen, keinerlei Haftung übernehmen.

Jegliche Vorschriften und Vorsichtsmaßnahmen im Umgang mit elektrischen Komponenten sind vom Anwender einzuhalten.

Beachten Sie ebenfalls die Richtlinien unter [Betrieb](#).

4. Spezieller Sicherheitshinweis: Kleinteile



ACHTUNG: Der Bausatz enthält verschluckbare Kleinteile. Von Kindern fernhalten.

5. Übersicht

Das vorliegende Modul ist eine zweifach Akkuweiche. Es werden damit zwei Akkus ohne nennenswerte Verluste zu einem Akku *parallel* geschaltet. Es ist nur sinnvoll, zwei Akkus *gleicher* Art (Blei, NiMh, LiPo, LiFePo4, ...) und *gleicher* Zellenzahl zusammen zu führen. Dabei ergibt sich eine nutzbare Kapazität der Summe der Einzelkapazitäten. Das Alter oder der Ladestand der Akkus spielt dabei keine Rolle.

Das Bild [Prinzipskizze der Akkuweiche zusammen mit zwei Akkus und einem Verbraucher](#) gibt einen prinzipiellen Überblick über den Anschluß im Modell. Anstatt des Verbrauchers kann auch zunächst ein elektronischer Hauptschalter eingesetzt werden. Gegenüber dem Verbraucher stellt sich die AkkuWeiche als *ein* Akku dar.

Man kann auch mehrerer Akkuweiche zusammenfügen, um eine 4-fach, 6-fach, ... Akkuweiche zu erreichen.

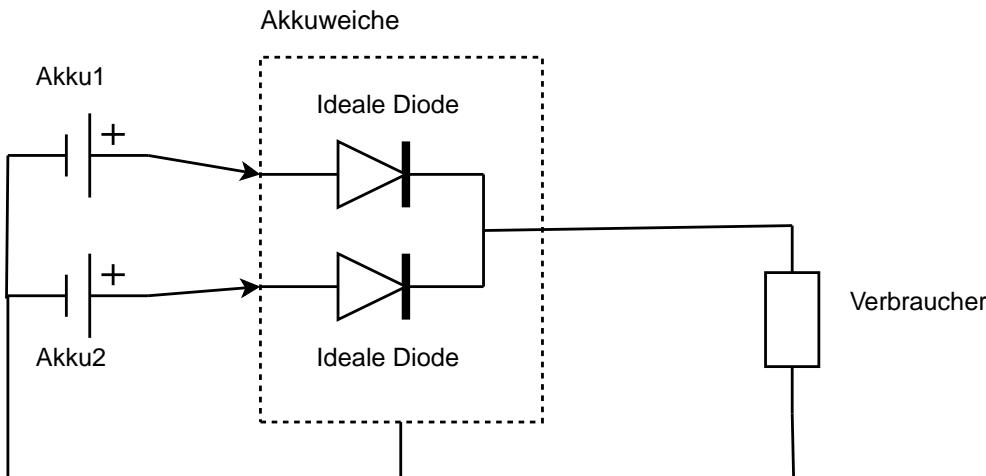


Abbildung 1. Prinzipskizze der Akkuweiche zusammen mit zwei Akkus und einem Verbraucher

Sicherer Betrieb



Die Akkuweiche besitzt *keine* Unterspannungsschutz oder Unterspannungsabschaltautomatik. Setzen ggf. hierzu einen weiteren Akkuwächter oder entsprechende Telemetrie Ihrer RC-Anlage ein.



Tiefentladung

Die Akkuweiche schützt nicht vor *Tiefentladung* der einzelnen Akkus.

6. Generelles über das Parallelschalten von (mehrzelligen Akkus)

Das Parallelschalten von Akkus ist mit einigen Problemen verbunden, die im praktischen Betrieb zu einigen Unsicherheiten führen können. Die ist je nach Akku-Art (Blei, LiPo, LiFePo4, NiMh) unterschiedlich.

6.1. Welche Akkus kann man theoretisch parallel schalten?

Rein theoretisch könnte man Akkus gleicher Technologie (Blei, LiPo, LiFePo4, NiMh) und Zellenzahl einfach parallel schalten. Denn der Grundsätzliche Aufbau eines jeden Akkus ist identisch: man hat im Akku in jeder Zelle zwei Elektroden mit einer bestimmten Fläche, die durch ein Elektrolyt voneinander getrennt sind. Je größer die Elektrodenfläche, desto größer die Kapazität. Die Elektrodenmaterialien und das Elektrolyt bestimmen die Spannung der Zelle. Die Spannung ist zudem vom Ladezustand der Zelle abhängig.

Schaltet man nun zwei Zellen paralell, so vergrößert man *theoretisch* nur die Fläche der Elektroden, und es *müsste* sich eine Gesamtzelle mit einer Kapazität aus der Summe der Einzelkapazitäten ergeben.



Dies ist in der Praxis aber nicht so!

6.2. Ausgleichsströme

Hat man zwei getrennt Akkus, so weisen diese durch ihren Produktionsprozeß Unterschiede auf. Zudem haben selbst *voll* geladene Akkus nicht exakt denselben Ladezustand und damit unterschiedliche Spannungslagen der einzelnen Zellen und damit des gesamten Akkus.

Ein direktes Parallelschalten solcher zwei Akkus führt also zwangsläufig dazu, dass zwischen den Akkus Ausgleichsströme fließen: der vollere Akku lädt den leereren Akku auf, bis beide die gleiche Spannungslage haben. Dieses *Umladen* ist mit einigen Verlusten verbunden, d.h. hier geht schon durch Wärmeentwicklung Energie verloren. Diese steht dann dem Betrieb des Modells nicht mehr zur Verfügung. Der Verlust kommt durch die unvermeidlichen *Innenwiderstände* der Akkus zustande, an denen der Ausgleichsstrom in Wärme umgewandelt wird.

Dies kann man natürlich umgehen, indem man die Akkus *einmal* zusammen schaltet und dann *nie wieder* voneinander trennt. Nun, dann hätte man sich besser gleich einen größeren Akku besorgen sollen, denn selbst damit sind die Probleme nicht behoben.

Etwas verbessern lässt sich die Situation, indem man je zwei Zellen direkt parallel schaltet. Dies minimiert die Spannungsdifferenzen und damit ggf. die Ausgleichsströme. Leider haben die meisten fertigen Blei und NiMH-Akkus keine herausgeführten Zellenabgriffe. Nun, und es gilt auch hier natürlich: da man diese Verschaltung nicht mehr lösen sollte, hätte man besser gleich einen größeren Akku erworben.

Fazit



Man dem Energieverlust durch Ausgleisströme nur umgehen, indem man auf Zellenbasis parallel schaltet und diese Verschaltung *dauerhaft* beibehält! Dann hätte man sich besser einen größeren Akku gekauft.

6.3. Nickel-Metallhydrid (NiMh) Akku

Durch Fertigungstoleranzen haben nominell gleiche und neue Akkus *nie* wirklich den gleichen Innenwiderstand. Durch vermehrte Ladezyklen nimmt der Innenwiderstand durch irreversible chemische Prozesse im Akku auch weiter zu. Schaltet man nun solche zwei Akkus parallel, so hat einer den niedrigeren Innenwiderstand. Der entnommene Strom verteilt sich also ungleich: der Akku mit dem niedrigeren Innenwiderstand liefert mehr Strom. Dadurch wird er wärmer als sein Partner. Leider ist der Innenwiderstand bei NiMh-Akkus zur Temperatur *umgekehrt* proportional: bei steigender Temperatur *sinkt* der Innenwiderstand. Der Akku mit dem stärkeren Stromfluss bekommt also einen noch niedrigeren Innenwiderstand, wodurch die Temperatur weiter steigt. Man hat also einen *Mitkoppelungseffekt* und damit ein instabiles System. Das führt dazu, dass im wesentlichen nur *einer* der Akkus tatsächlich entladen wird!

Diesen Effekt kann man verringern, indem die Akkus direkt miteinander körperlich verbunden werden (Schrumpfschlauch, Wärmeisolierung).

Fazit



Die thermische Instabilität der Parallelschaltung kann man nur durch ein mechanisches direktes Verbinden der Akkus verringern. Damit bleiben die Akkus praktisch untrennbar. Dann hätte man sich besser einen größeren Akku gekauft.

6.4. Lithium-Polymer (LiPo) Akkus

6.4.1. Innenwiderstand

Der Verlauf des Innenwiderstands eines LiPo-Akkus über der Temperatur ist bis ca 40°C mit steigender Temperatur abfallend und anschließend wieder leicht steigend, bis der Akku dann ab 70°C zerstört werden kann.

Damit haben wir beim Parallelschalten der Akkus zunächst dasselbe Problem wie bei den NiMh-Akkus. Allerdings stabilisiert sich die Zusammenschaltung oberhalb von ca. 40°C wieder. Es bleibt also nicht dauerhaft instabil. Sind die Ströme allerdings gering, so dass sich die Akkus nicht sehr stark aufheizen, hat man schon eine Verstärkung der Ungleichtentladung.

Diesen Effekt kann man verringern, indem die Akkus direkt miteinander körperlich verbinden werden (Schrumpfschlauch, Wäremisolierung). Und man sollte die Akkus thermisch konditionieren, also vorheizen (das machen ja auch manche Leute, um den Innenwiderstand zu reduzieren).

Fazit



Die thermische Instabilität der Parallelschaltung kann man nur durch ein mechanisches direktes Verbinden der Akkus verringern. Damit bleiben die Akkus praktisch untrennbar. Dann hätte man sich besser einen größeren Akku gekauft.

6.4.2. Ausgleichsströme

Beim Laden von LiPo-Zellen ist streng darauf zu achten, dass die einzelnen Zellen jeweils nicht überladen werden. Deswegen benutzt man ja auch Balancer beim Ladevorgang. Dieses Prinzip muss auch beim Umladen durch Parallelschaltung berücksichtigt werden. Möchte man also zwei LiPo-Akkus parallel schalten, so muss der Akku mit dem niedrigeren Ladestand, der ja vom volleren geladen wird, einen Balancer bekommen. Da man das üblicherweise nicht weiß, bräuchten beide Akkus für die Dauer dem Umladung beim Parallelschalten einen Balancer.

Dies lässt sich nur wirksam umgehen, indem man jeweils auf Zellenebene parallel schaltet.

Fazit



Beim Parallelschalten muss die Umladung durch einen Balancer gesteuert werden. Alternativ verbindet man die Akkus auf Zellenebene. Da im Entladebetrieb die Ströme wesentlich höher sind als im Ladebetrieb, reichen ggf. die Querschnitte der Balancerkabel nicht aus. Man muss also die Kabel ersetzen. Dann hätte man sich besser einen größeren Akku gekauft.

6.5. Lithium-Eisenphosphat (LeFePo4) Akkus und Blei-Akkus

Diese Akkus sind wesentlich robuster in Bezug auf die Überladeeigenschaften. Bei offenen Bleiakkus ist die Überladung zum Teil sogar erwünscht, um Sulfatierungen durch Gasblasen wieder aufzulösen. Insofern ist das unkontrollierte Laden durch den Umladenvorgang kein Problem für die Akkus. Natürlich geht hierbei Energie verloren (s.o.).

Bzgl. des Innenwiderstandes gilt im wesentlichen das Gleiche, wie bei den LiPo-Akkus.

Fazit



Die Parallelschaltung sollte auch hier auf Zellenebene erfolgen. Dann hätte man sich besser einen größeren Akku gekauft.

6.6. Zusammenfassung

Aus dem oben gesagten folgt für *alle* Akkutypen, dass man sie nur dann *sinnvoll* parallelschalten kann, wenn man die *thermisch koppelt* und auf *Zellenebene* parallel schaltet. Dies führt zwangsläufig zu einer *mechanischen Einheit*. Die Akkus lassen sich eigentlich nicht mehr wirklich für andere Zwecke

voneinander trennen.

Dann hätte man sich besser einen größeren Akku gekauft!

Die hier vorgestellte Akkuweiche soll diese Beschränkung aufheben: mit ihr kann man temporär Akkus zusammen schalten. Dies ist im praktischen Betrieb äußerst flexibel.

- Die Akkus können in unterschiedlichen Modellen oder Zwecken genutzt werden.
- Sie können räumlich getrennt im Modell untergebracht werden. Damit kann eine bessere Gewichtsverteilung erreicht werden.
- Tempatureinflüsse oder Ladezustände bzw. Alterungen spielen keine Rolle mehr.
- Jeder Akku kann voll entladen werden.
- Umladeverluste entfallen vollständig.
- Zudem verursacht die Akkuweiche kaum weiteren Verluste im Betrieb.



Fazit

Mit der Akkuweiche braucht der Modellbauer weniger Akkus. Das schon die Umwelt!

7. Leistungsdaten

- Maximale Eingangsspannung je Akku: 40V
- Maximaler Strom je Akkuzweig: 50A
- Ruhestrom je Akkuzweig: < 2µA
- Spannungsabfall: < 25mV

8. Einbau



Das Modul wie auch diese Doku ist noch unvollständig und *work-in-progress*. Bei jeglichen Unklarheiten in dieser Funktionsbeschreibung und generellem Aufbau und Anschluß, unterlassen Sie den Betrieb und kontaktieren Sie den Bausatzersteller.

8.1. Anschluß der Akkus

Für einen ordnungsgemäßen Betrieb ist das Modul mit entsprechenden Kabeln zu versehen, die einen ausreichenden Querschnitt aufweisen. Die vorhandenen Lötaugen sind auf Kabel 12AWG abgestimmt.

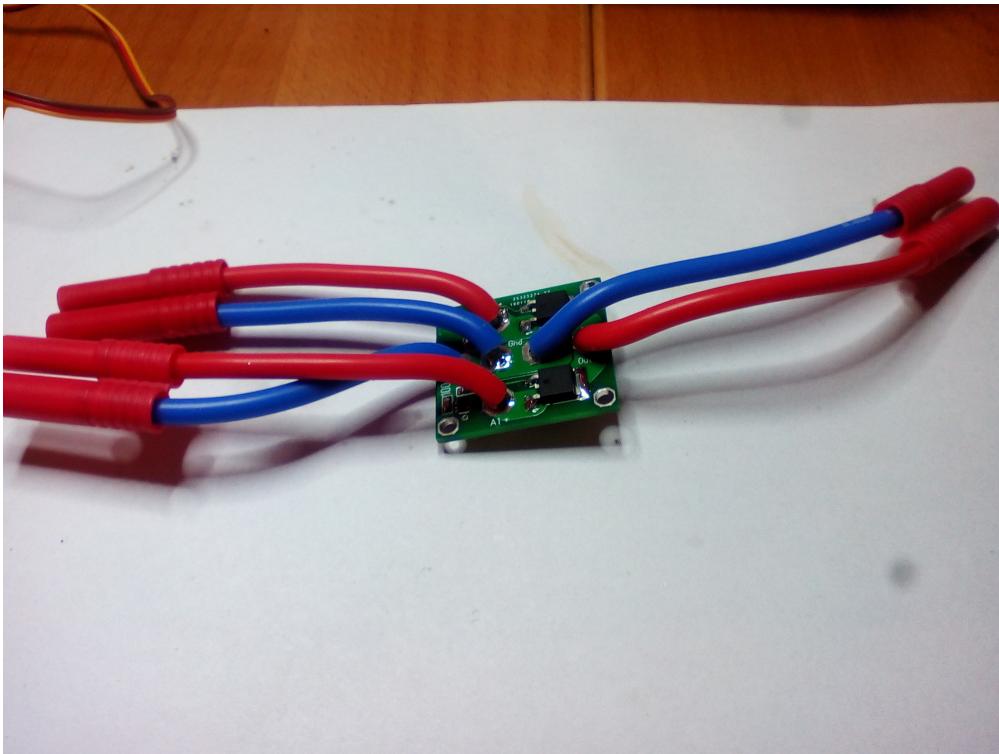
Die Anschlüsse **Akku 1 (+) / Gnd** sind mit dem Akku 1 zu verbinden.

Die Anschlüsse **Akku 2 (+) / Gnd** sind mit dem Akku 2 zu verbinden.

Die Anschlüsse **Out (+) / Gnd** stellen den Ausgang dar. Vor hier aus erfolgt die weitere Verbindung zu den Verbrauchern im Modell oder zum Hauptschalter.



Ein Verpolen der Anschlüsse führt sofort zu einem Defekt!



8.2. Schutz

Um das Modul gegen Feuchtigkeit zu schützen, empfieilt es sich, das Modul mit Polyurethan-Lack-Schutzlack (z.B. Kontakt 70) zu überziehen. Bitte kleben Sie jedoch vorher (falls noch nicht angelötet) die Lötringe für die Anschlußkabel ab.

9. Funktion

Das Bild [Spannungsmessung im Betrieb: Ungleich geladenen Akkus](#) verdeutlicht die Arbeitsweise der Akkuweiche anhand eines Spannungsverlaufes zweier Akkus (Akku1: Kurve blau, Akku2: Kurve rot, Ausgang der Akkuweiche: Kurve grün).



Abbildung 2. Spannungsmessung im Betrieb: Ungleich geladenen Akkus

Im Bild [Spannungsmessung im Betrieb: Ungleich geladenen Akkus](#) sind die ausgangseitigen Belastungen durch entsprechende Markierungen angezeigt. Zu Beginn der Messung ist der *Akku1* voll geladen, während *Akku2* schon deutlich entladen ist. Hat *Akku1* dann das Spannungsniveau von *Akku2* erreicht, so werden anschließend beide Akkus gleichförmig entladen.

In [Spannungsmessung im Betrieb: verschiedene Lasten und An- und Abschalten von Akku1](#) ist eine weitere Messung zu sehen, hierbei wird auch teilweise der *Akku1* von der Akkuweiche *entfernt* und später wieder *hinzugefügt*.

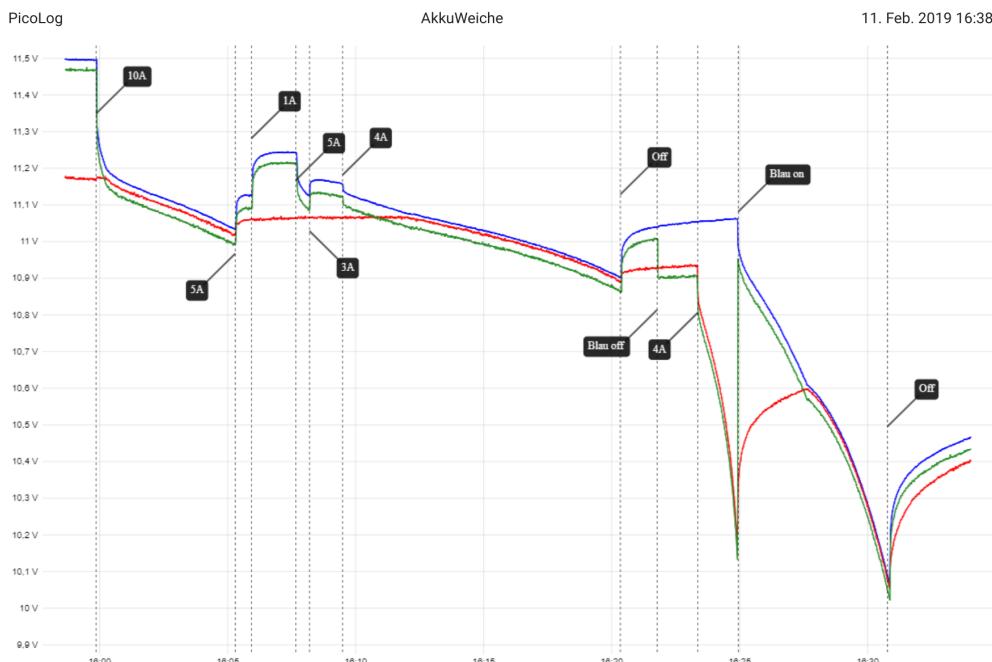


Abbildung 3. Spannungsmessung im Betrieb: verschiedene Lasten und An- und Abschalten von Akku1

10. Betrieb



Beachten Sie unbedingt die Anweisungen unter [Erste Inbetriebnahme](#).



Die üblichen Sicherheitsvorkehrungen im Betrieb mit ferngesteuerten Modellen, insbesondere Schiffsmodellen sind einzuhalten.



Beachten Sie **alle** folgenden Hinweise zum Betrieb.



Eine Verwendung des Moduls in Rennbooten oder Flugmodellen ist nicht zulässig.



Das Modul darf nicht in Kontakt mit Wasser, Wasserdampf oder anderen Flüssigkeiten kommen. Wasser oder Wasserdampf bzw. andere Flüssigkeiten können zu einem Totalausfall und damit zu einem Modellverlust sowie Personenschäden führen.



Das Modul verbraucht im Ruhezustand nur sehr wenig Strom. Trotzdem darf ein dauerhafter Anschluß an einen unüberwachten Akku nicht erfolgen. Hier besteht Brandgefahr! Gefahr von Personenschäden!



Beim Betrieb ist die Erwärmung des Moduls zwingend zu überwachen! Eine Überhitzung kann zu einem Totalausfall und damit zu einem Modellverlust führen. Gefahr von Personenschäden!



Die erforderlichen Kabelquerschnitte für die Verbindung mit dem Akku und auch mit dem elektrischen Verbraucher sind unbedingt einzuhalten. Hier besteht Brandgefahr. Gefahr von Personenschäden!



Das Modul ist nicht kurzschlußfest. Ein Kurzschluß führt zu einem Totalausfall und damit zu einem Modellverlust sowie Personenschäden.



Das Modul ist nicht verpolungsfest. Eine Verpolung führt zu einem Totalausfall und damit zu einem Modellverlust sowie Personenschäden.



Die Kapazitäten (Elkos, Siebelkos) am Ausgang des Moduls, etwa in Fahrreglern (Stellern) für Motoren, dürfen $10.000\mu\text{F}$ nicht überschreiten. Zu hohe Kapazitäten können zu einem Totalausfall und damit zu einem Modellverlust sowie Personenschäden führen.



Das Modul darf keinen Vibrationen ausgesetzt werden. Treffen Sie entsprechende Vorkehrungen zu einem vibrationsgeschützten Einbau. Zu starke Vibrationen können zu einem Totalausfall und damit zu einem Modellverlust sowie Personenschäden führen.



Das Modul darf nur innerhalb eines Temperaturbereiches von -10°C bis $+55^\circ\text{C}$ betrieben werden. Ein Betrieb außerhalb dieses Bereiches kann zu einem Totalausfall und damit zu einem Modellverlust sowie Personenschäden führen.

11. Aufbau

Der Bausatz enthält die Einzelteile zum Aufbau des Moduls.

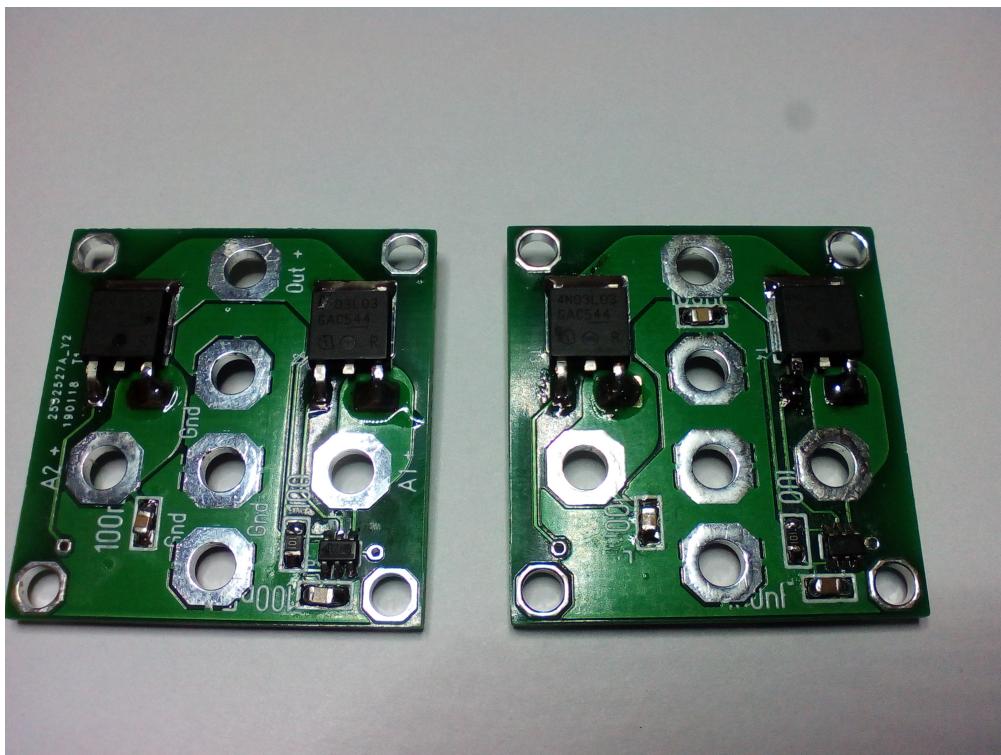


Abbildung 4. Ansicht der Platine oben und unten

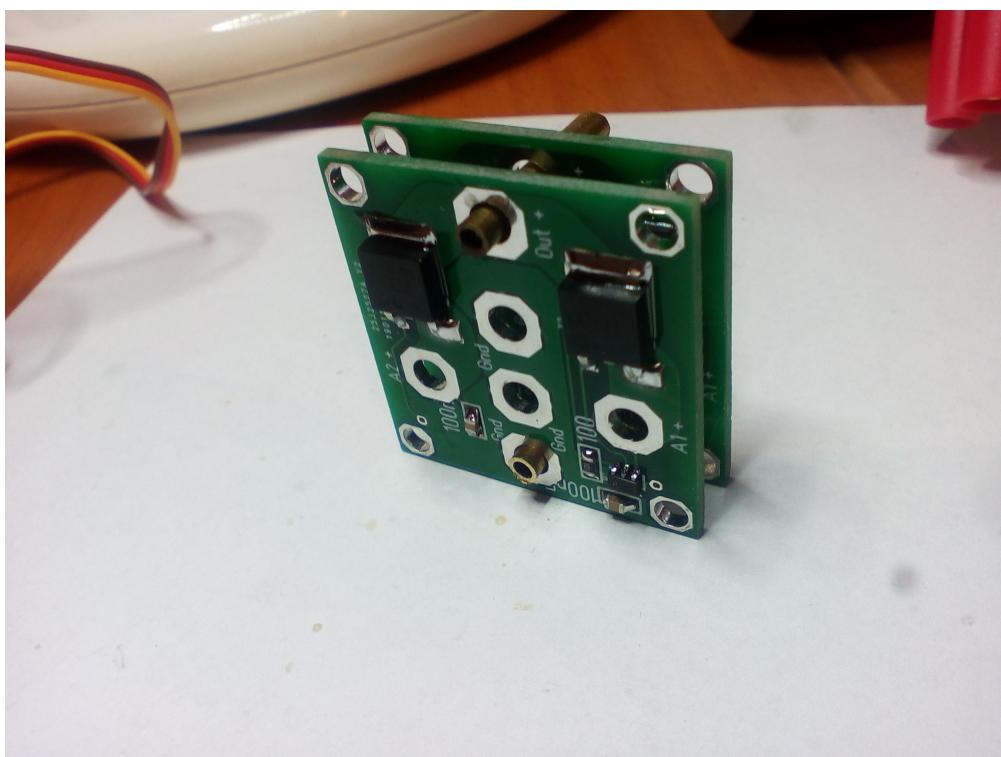


Abbildung 5. Ansicht einer 4-fach Akkuweiche mit zwei gestapelten zweifach Akkuweichen.

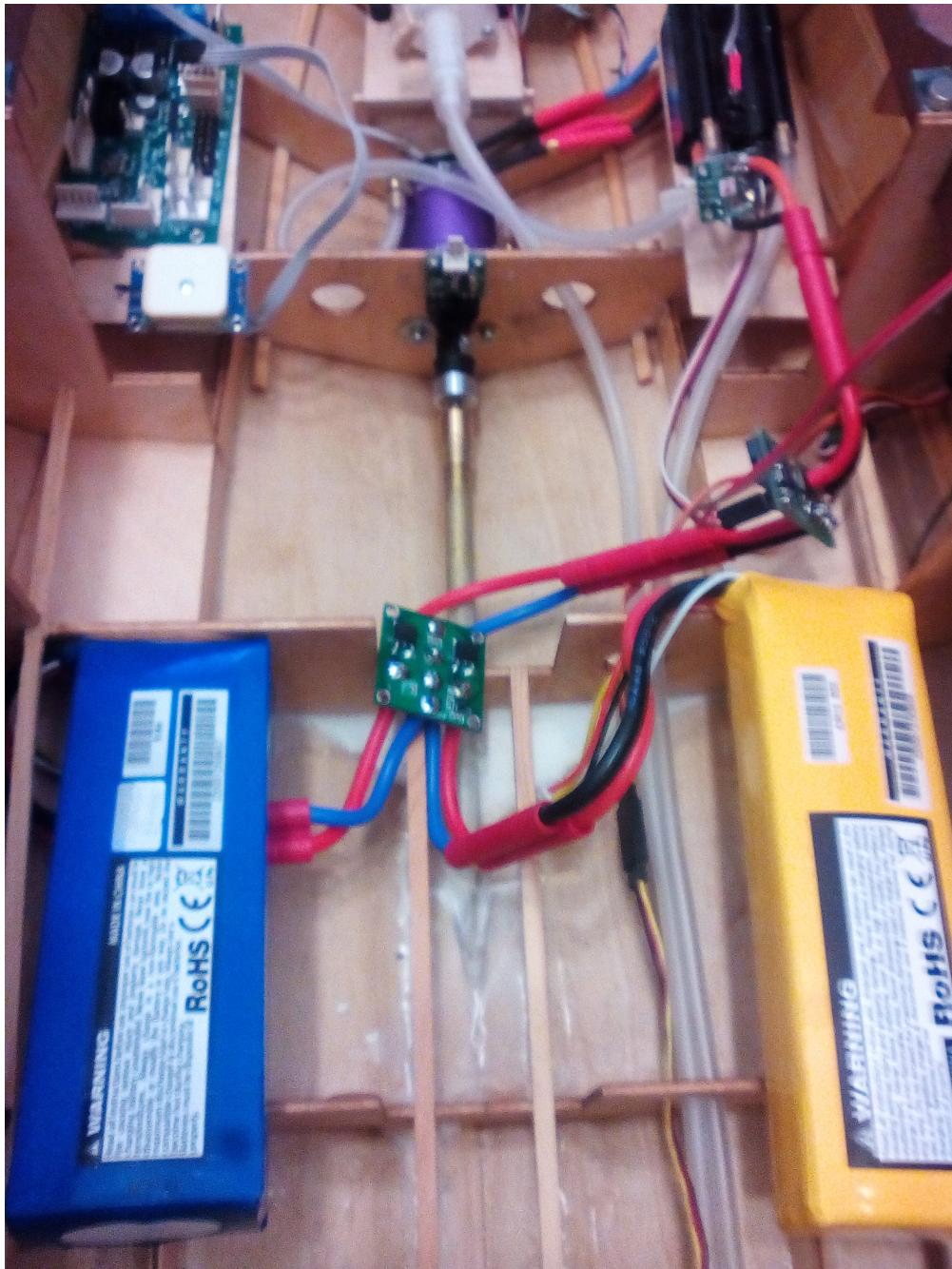


Abbildung 6. Einbausituation

11.1. Schrittweise Anleitung

Löten Sie alle Bauteile wie angegeben auf.

Beim Auflöten der MOSFETs ist darauf zu achten, dass die Verlötung auf der Platine mit der Rückseite der MOSFETs vollflächig erfolgt. Hierzu muss ein ausreichend starker Lötkolben verwendet werden. Achten Sie auch auf eine hohe Löttemperatur ($400\text{ }^{\circ}\text{C}$) und eine kurze Lötdauer.



Bei zu langer Lötdauer kann der MOSFET zerstört werden.

Pin 3 (Source) der MOSFETs muss mit *sehr viel* Lötzinn aufgelötet werden. Trotzdem darauf achten, dass kein Kurzschluß zu einer benachbarten Leiterbahn entsteht.

11.2. Erste Inbetriebnahme

Die erste Inbetriebnahme *muss* unbedingt

- ohne Verbraucher
- mit einem Labornetzteil mit einstellbarer Spannung und Strombegrenzung

erfolgen. Am Ausgang des Moduls schließen Sie ein Multimeter oder eine LED mit passendem Vorwiderstand an.

Stellen Sie am Netzteil ein:

- Spannung: 8V
- Strombegrenzung: 50mA

Schließen Sie *erst jetzt* das Modul eingangsseitig an das Labornetzteil an. Die Strombegrenzung des Labornetzteils *darf nicht* ansprechen. Der Stromverbrauch sollte in der Anzeige nicht mehr als $2\mu\text{A}$ sein.



Bauen Sie erst dann das Modul in ein Modell ein, wenn Sie sich von der einwandfreien Funktion überzeugt haben.

12. Kontakt

Anfragen: wilhelm.wm.meier@googlemail.com