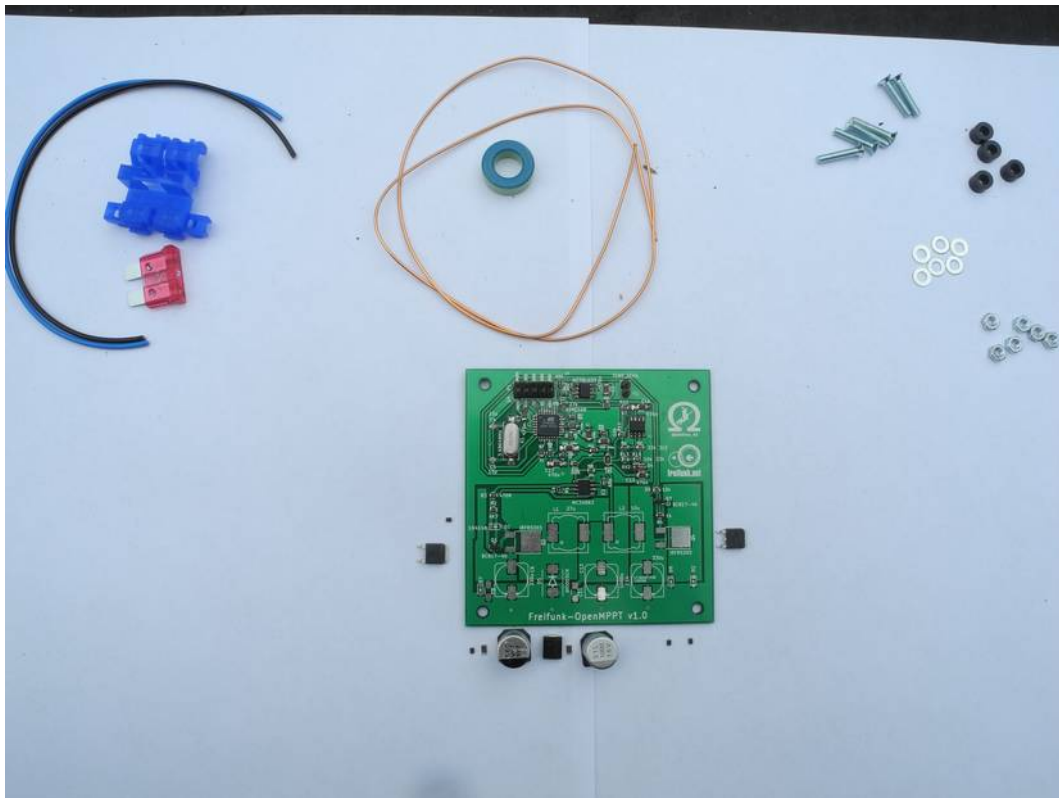


Handbuch zum Freifunk-OpenMPPT

Beschreibung

Der Freifunk-OpenMPPT ist ein programmierbarer Open-Source und Open-Hardware Solarladeregler mit sogenanntem Maximum-Power-Point-Tracking zum selber löten und hacken. Der Regler besitzt eine serielle Schnittstelle zur Überwachung der Betriebsdaten und Programmierung über den integrierten Bootloader und einen Tiefentladeschutz. MPP-Tracking bedeutet, dass der Regler die Spannung des Solarmoduls im Punkt größter Ausgangsleistung berechnet und elektronisch nachführt, so dass der größtmögliche Energieertrag entsteht. Dadurch lässt sich der Ladestrom – je nach Batterieladestand und Temperatur – um bis zu 40% steigern. Die Basisversion des Freifunk-OpenMPPT-Solarladereglers ist für kleinere Anlagen bis etwa 50 Watt Modulleistung ausgelegt. Das Gerät wurde entwickelt für die Versorgung und Überwachung der Stromversorgung von energieautonomen Freifunk-Routern oder überall da, wo man eine kleine und effiziente unabhängige Stromversorgung braucht, deren Betriebsdaten man auch aus der Ferne überwachen möchte. Wann der Verbraucherausgang sich ein- oder abschaltet lässt sich programmieren. Wer will, kann den Regler auch für höhere Leistung »frisieren«.

Der Freifunk-OpenMPPT kommt als Bausatz.



Zusammenbau

Im Freifunk-OpenMPPT-Bausatz ist der MPP-Controller auf der Platine bereits bestückt und mit dem seriellen Bootloader versehen. Ihr müsst nur noch den Leistungsteil der Schaltung bestücken.

Die Position der Bauelemente und - gegebenenfalls – die Einbaurichtung ist auf der Platine vorgedruckt.

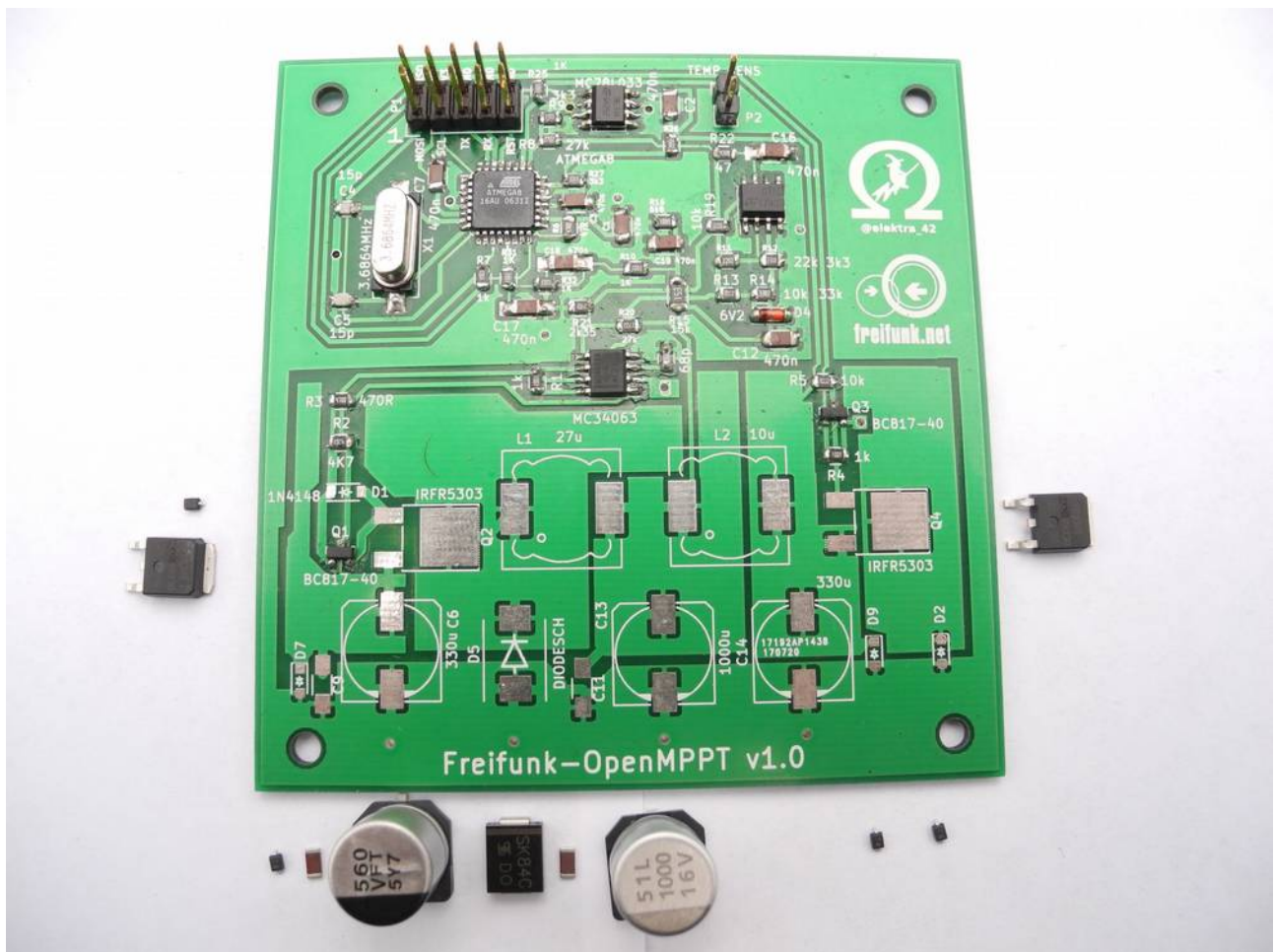
Hinweise für die, die noch nie Elektronik gelötet haben:

* Man sollte nicht länger als 5 Sekunden an einem einzelnen Teil herumlöten, damit man es nicht überhitzt. Dauert der Lötvorgang wesentlich länger ist entweder die Lötspitze nicht sauber und / oder der LötKolben zu schwach oder (noch) nicht heiß genug. Bei mehr als zwei Lötstellen an einem elektronischen Bauelement dieses zwischendurch etwas abkühlen lassen.

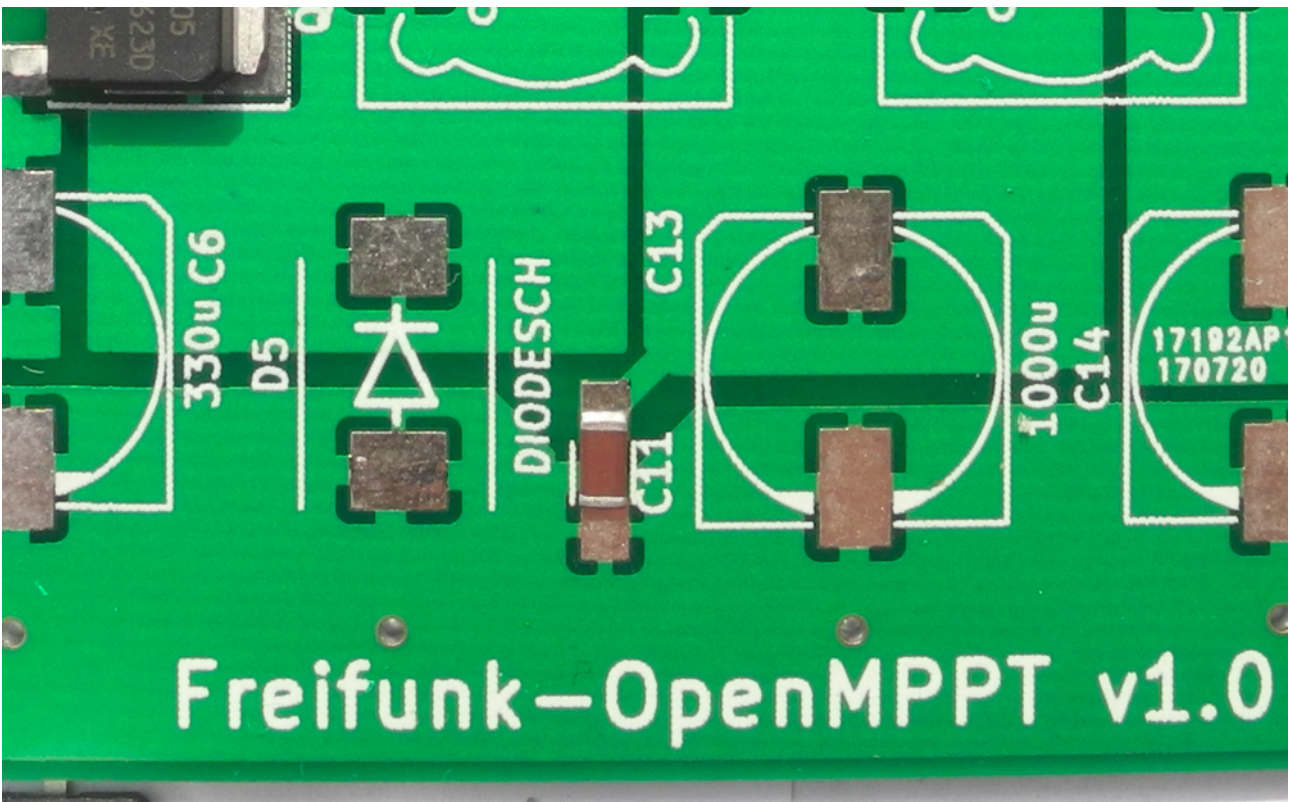
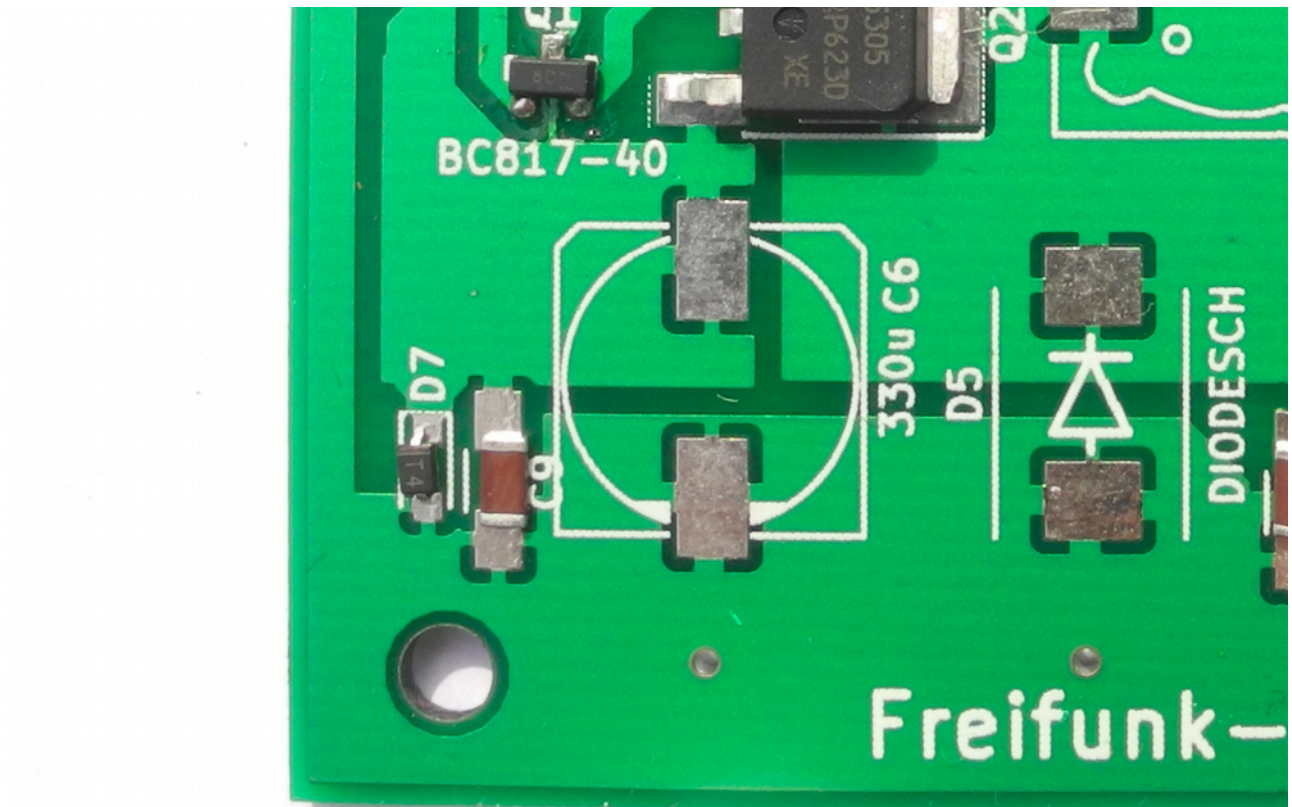
* Lötfett darf nicht benutzt werden. Es enthält Säuren, die die Platine beschädigen. Geeignetes Flussmittel ist Kolophonium. Aber eigentlich braucht man kein Flussmittel.

* Manche Bauteile sind gepolt, d.h. es ist möglich, sie elektrisch falsch herum einzulöten. Gepolt sind die Dioden (4 kleine Dioden im schwarzen Plastikstreifen mit abziehbarer Klarsichtfolie verpackt), die eine große Diode (lose) und die großen Kondensatoren im Aluminiumbecher.

Hier liegen die Bauelemente neben der Platine, richtig ausgerichtet:



Fangt das Bestücken mit den flachen Bauelementen an. Zuerst die beiden keramischen Kondensatoren (im transparenten Streifen mit abziehbarer Klarsichtfolie). Sie sind ungepolt, die Einbaurichtung ist also egal. Ausserdem sind sie relativ hitzeunempfindlich.



Bestückt zuerst C9 und C11. Links neben C9 liegt eine der vier kleinen Dioden (D7). Zu der kommen wir gleich.

Löten der keramischen Kondensatoren

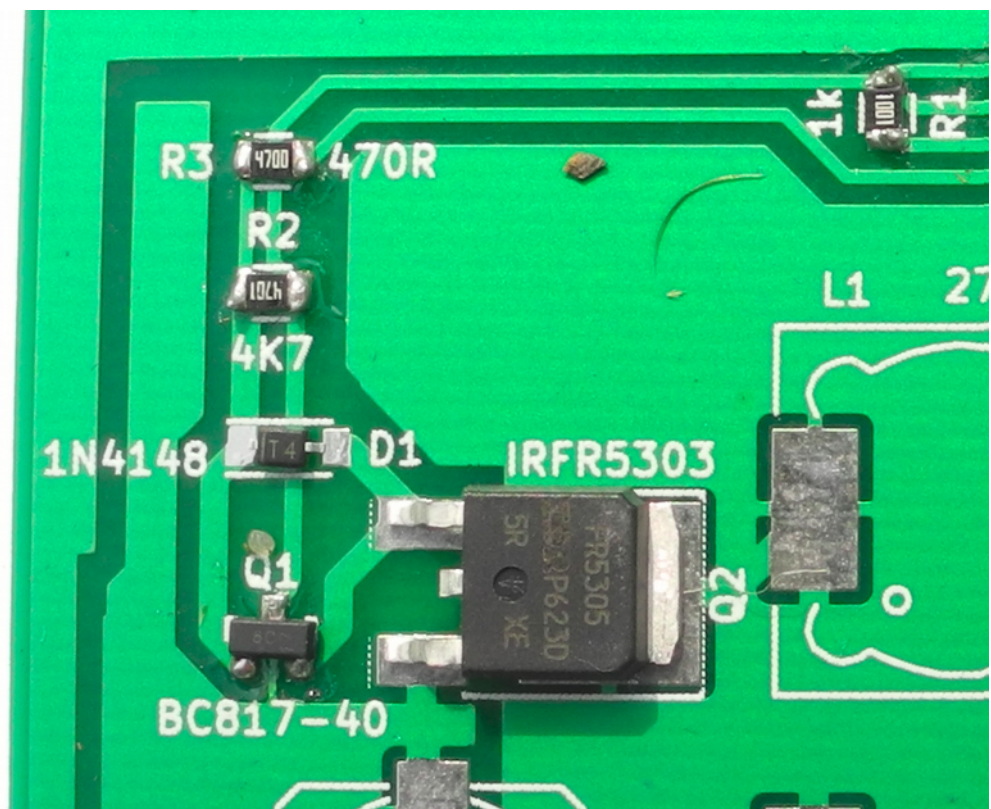
SMD-Löten von zweipoligen Bauelementen geht so: Auf eines der beiden Löt pads schmilzt man etwas Lötzinn auf. Dann fasst man das passende Bauteil mit einer Pinzette oder einer feinen Zange ungefähr in der Mitte und führt es vor den Löt punkt. Nun macht man mit der Lötspitze das Pad mit dem Lötzinn heiß und schiebt das Bauteil in das flüssige Lötzinn. Sitzt das Bauteil an der richtigen Stelle, nimmt man die Lötspitze weg und hält die Pinzette dabei ruhig. Nach kurzer Abkühlzeit kann man die Pinzette wegnehmen. Liegt das Bauteil falsch, macht man den Löt punkt nochmal heiß und schiebt es zu recht. Sobald es richtig sitzt kann man die andere Seite in aller Ruhe löten.

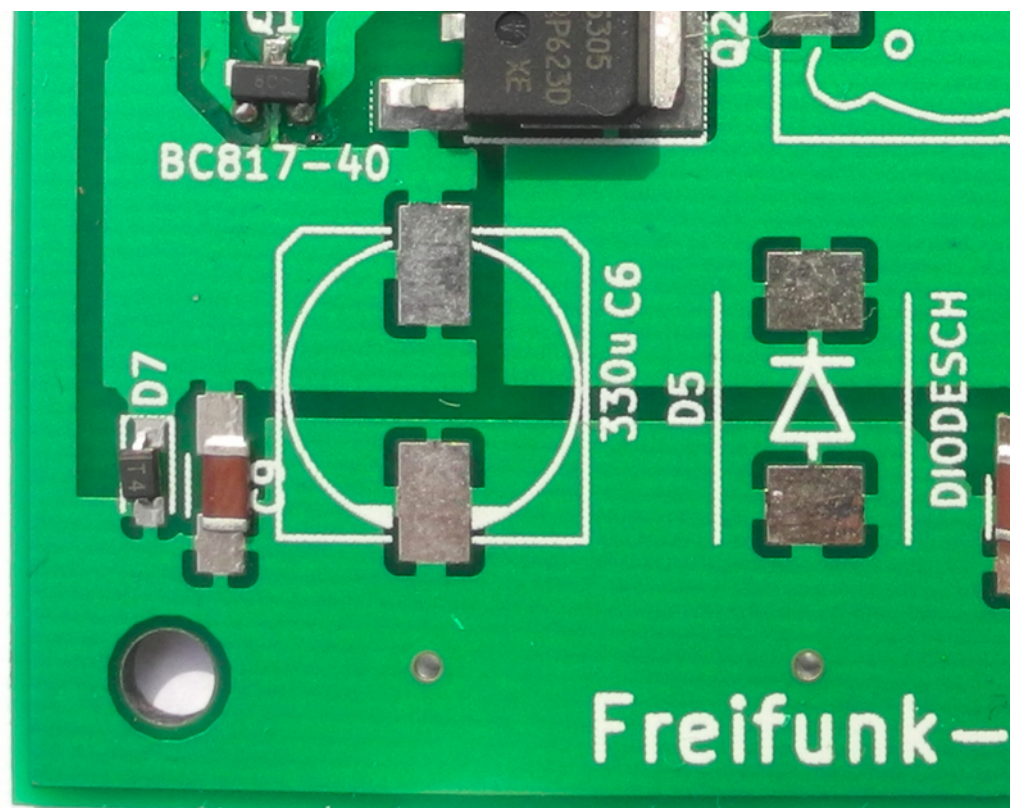
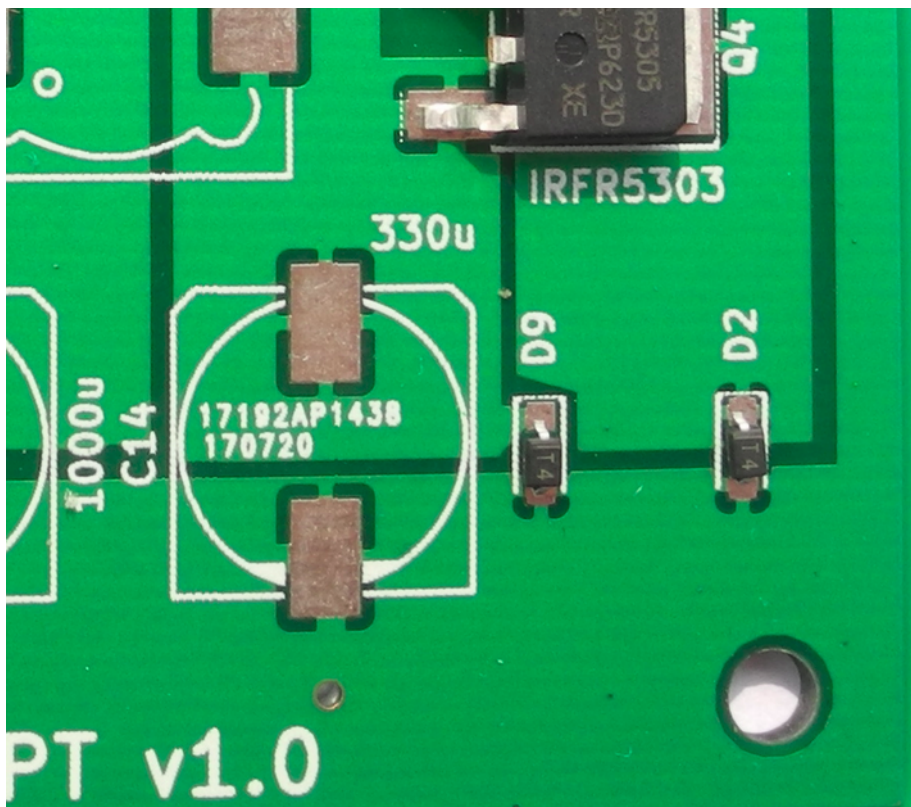
Mit der Lötspitze Bauteil und Pad gleichzeitig berühren und Lot hinzufügen. Ist es aufgeschmolzen, Lötspitze weg nehmen. Fertig!

Die keramischen Kondensatoren sind relativ unempfindlich. War gar nicht so schwer, oder?

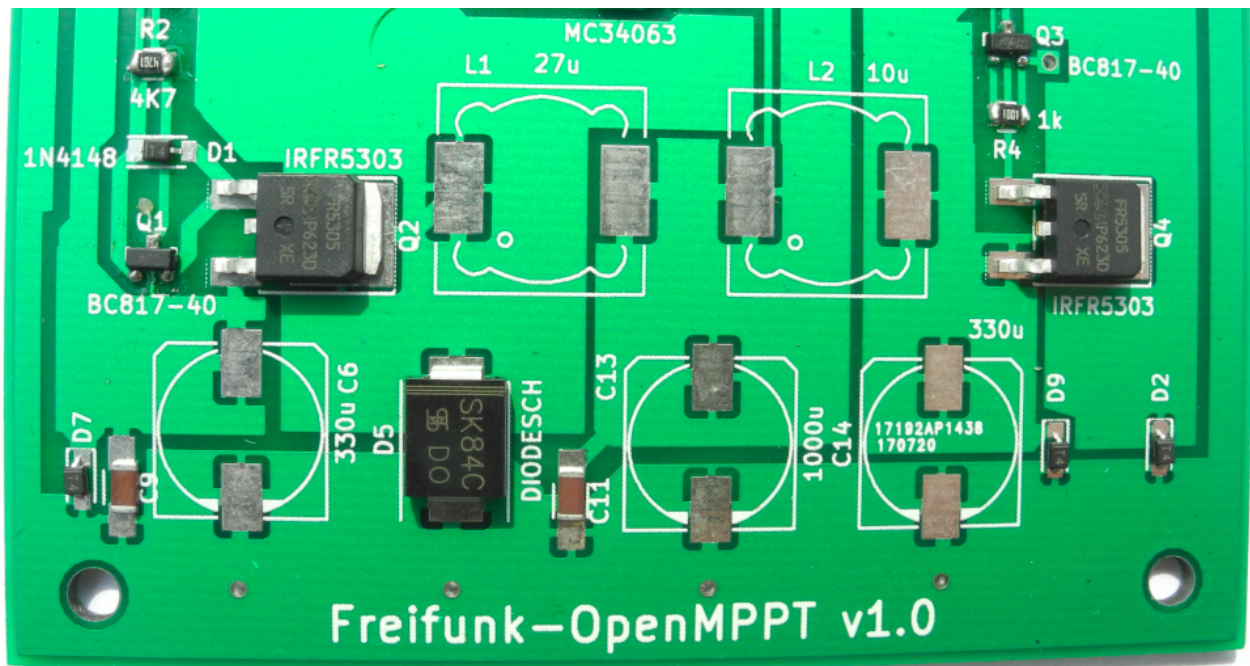
Dioden bestücken

Als nächstes sind die vier kleinen Dioden D1, D2, D7, D9 dran. Diese Dioden sind sehr klein und der auf dem Gehäuse aufgedruckte Strich ist schwer zu erkennen. Hier hilft eine Lupe oder Lesebrille, damit man den Strich identifizieren kann und die Dioden auch wirklich richtig herum einbaut.





Daneben kommt die große Diode D5. Der Strich ist oben. Für diese Diode braucht es ziemlich viel Wärmeenergie.

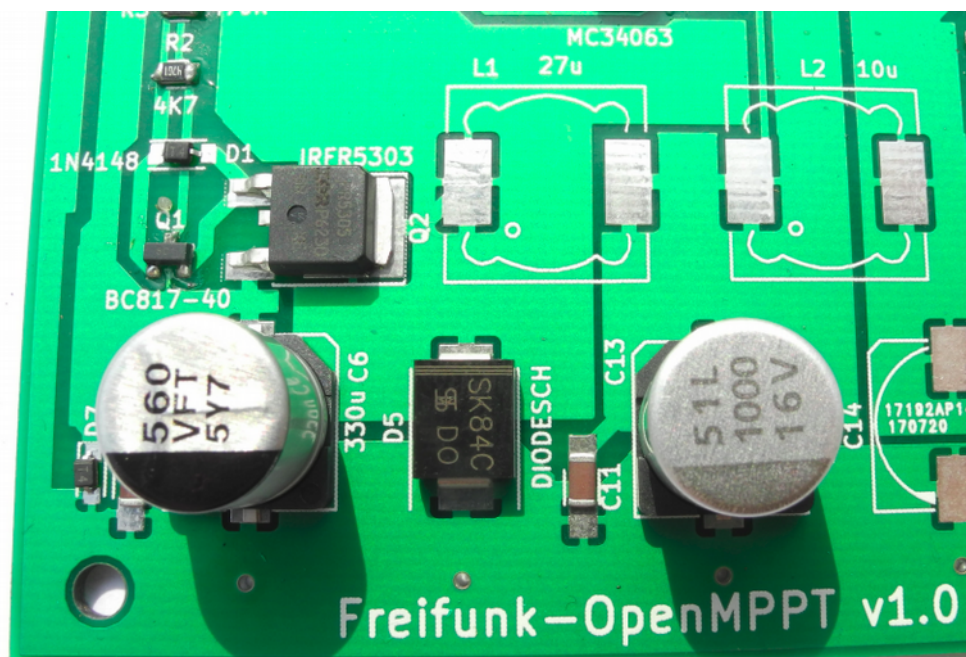


Transistoren einlöten

Als nächstes sind die zwei Transistoren dran. Beide sind gleich. Eines der beiden kleineren Pads verzinnen und dann das Bauteil in das heiße Lötzinn führen, wie vorher auch. Dann das zweite kleine Pad verlöten. Zum Schluss die Kühlfahne festlöten, dazu braucht man sehr viel Hitze. Es hilft, wenn man dem LötKolben zwischendurch Zeit zum Nachheizen lässt. Die Transistoren sollte mal zwischendurch abkühlen lassen.

Becherelektrolytkondensatoren einlöten

Auch diese Bauteile sind gepolt. Wenn Ihr die Platine so vor Euch habt, dass die Beschriftung Freifunk-OpenMPPT richtig herum zu lesen ist, kommt der Kondensator mit 330 oder 560 ganz nach links, der andere rechts neben die große Diode.



Die schwarzen Markierungen auf dem Becher müssen zu Euch hin zeigen. Auch das schwarze Plastikteil am Fuß der Becherelkos hat eine eindeutige Form, die mit dem Bestückungsaufdruck übereinstimmen muss. (Hat man einen größeren Kondensator, der zu groß für die Löt pads ist, kann man mit einem kleinen Schraubenzieher neben den eigentlichen Pads etwas von dem Lack abschaben und die so entstandene Kupferfläche vor dem Löten dünn verzinnen. Die größeren Kondensatoren haben weniger Verluste und vertragen mehr Leistung. "Frisieren".)

Spule wickeln

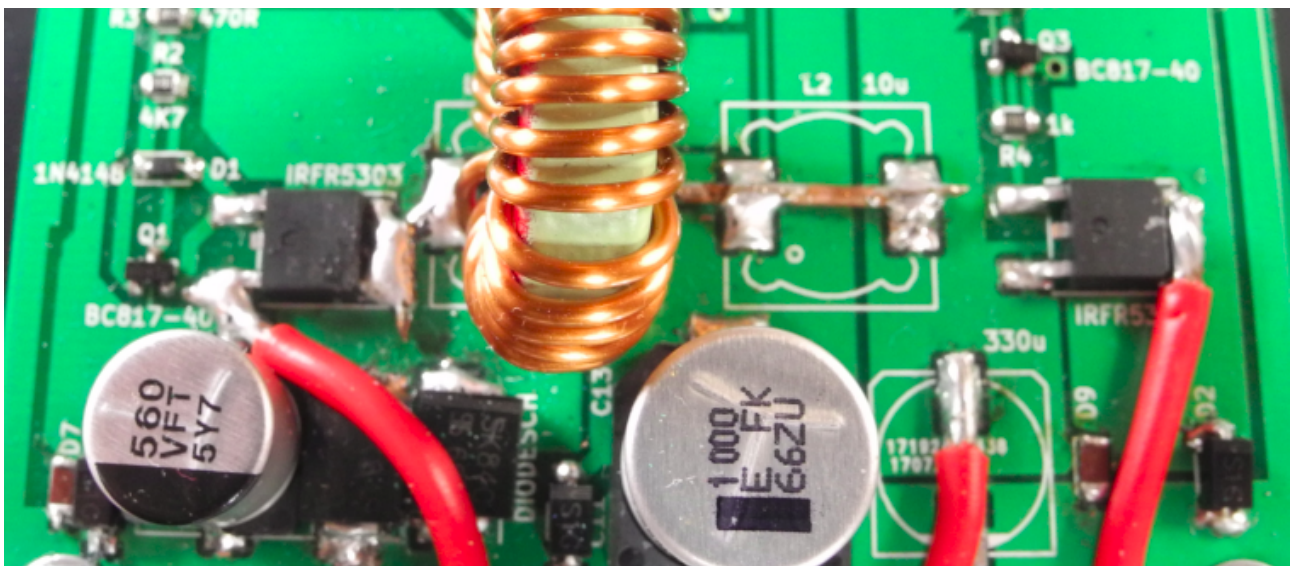
Der Ringkern wird eng mit einer Lage Kupferlackdraht bewickelt. Die freien Enden müssen blank geschabt werden (z.B. mit der Zange oder dem Seitenschneider). Dann gut verzinnen. Die Spule sollte links mit der Kühlfahne des Transistors und dem Pad daneben verlötet werden. Hier braucht Ihr sehr viel Wärme. Am besten lötet sich das mit bleihaltigem Lot, weil es bei niedrigerer Temperatur schmilzt.

Die rechte Seite der Spule wird wie im Foto verlötet und bildet so nebenbei eine Lötbrücke.

Die auf der Platine eingezeichnete Spule rechts daneben und der Kondensator darunter bilden ein optionales L-C-Filter, das wird normalerweise nicht bestückt. Ihr könnt es bestücken, um Störsignale auf niedrigen Frequenzbändern aus dem DC/DC-Wandler zu reduzieren, wenn Ihr den MPPT in der Nähe einer Kurzwellenfunkstation oder eines Kurzwellenempfängers betreibt.

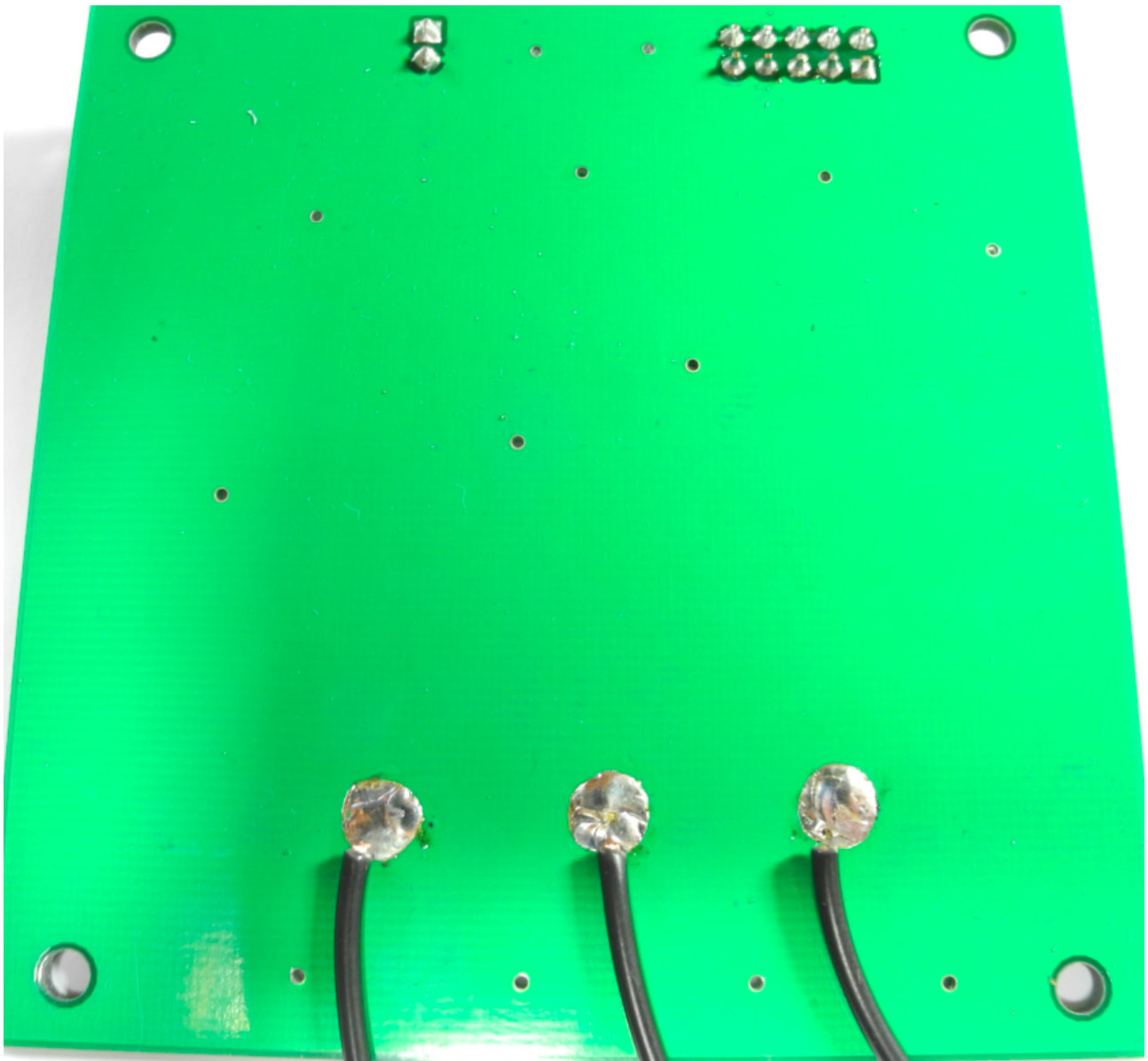
Anschlusskabel anlöten

Von links nach rechts:



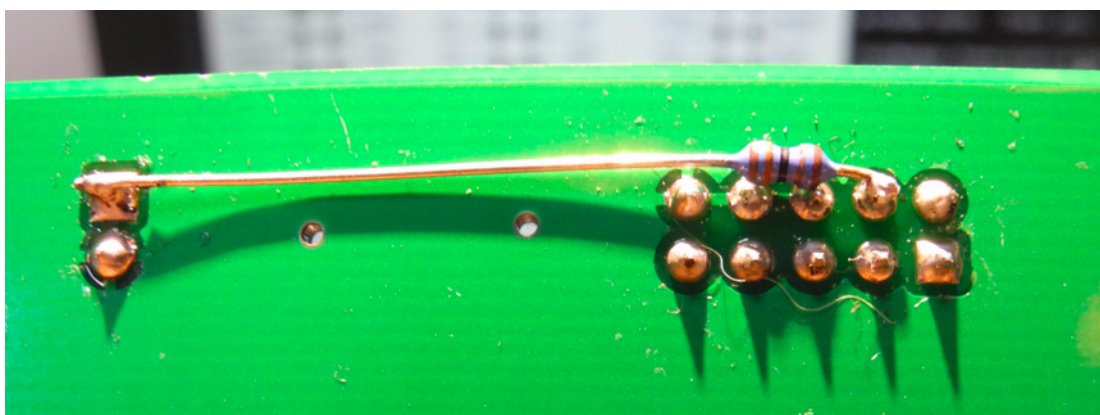
Solareingang plus, Batterie plus, Verbraucher plus. Dafür ist das blaue Kabel im Bausatz vorgesehen. Ihr könnt es in drei gleich lange Stücke schneiden. (Lasst Euch nicht von der doppelten Leistungsdiode irritieren. Ihr braucht nur eine. Ich experimentiere gerade mit größerer Leistung)

Minus (schwarze Kabel) ist für alle drei Anschlüsse gemeinsam. Sie werden auf der Unterseite der Platine angelötet.



Temperatursensor

An den Anschluss Temp_Sens könnt Ihr einen analogen Temperatursensor anschließen. Falls Ihr einen KTY81-210 verwenden wollt, müsst Ihr an der Unterseite einen 1,3 kOhm Widerstand wie abgebildet einlöten. Der KTY81-210 ist nur über einen eingeschränkten Temperaturbereich lediglich genau ($\pm 1,2$ Grad) und auch nicht linear.



Eine andere Option ist ein LM335, linear und genauer. Dafür ist die Beschaltung aber aufwendiger und man muss dazu die Firmware anpassen. (Kommt noch.)

Sichtprüfung

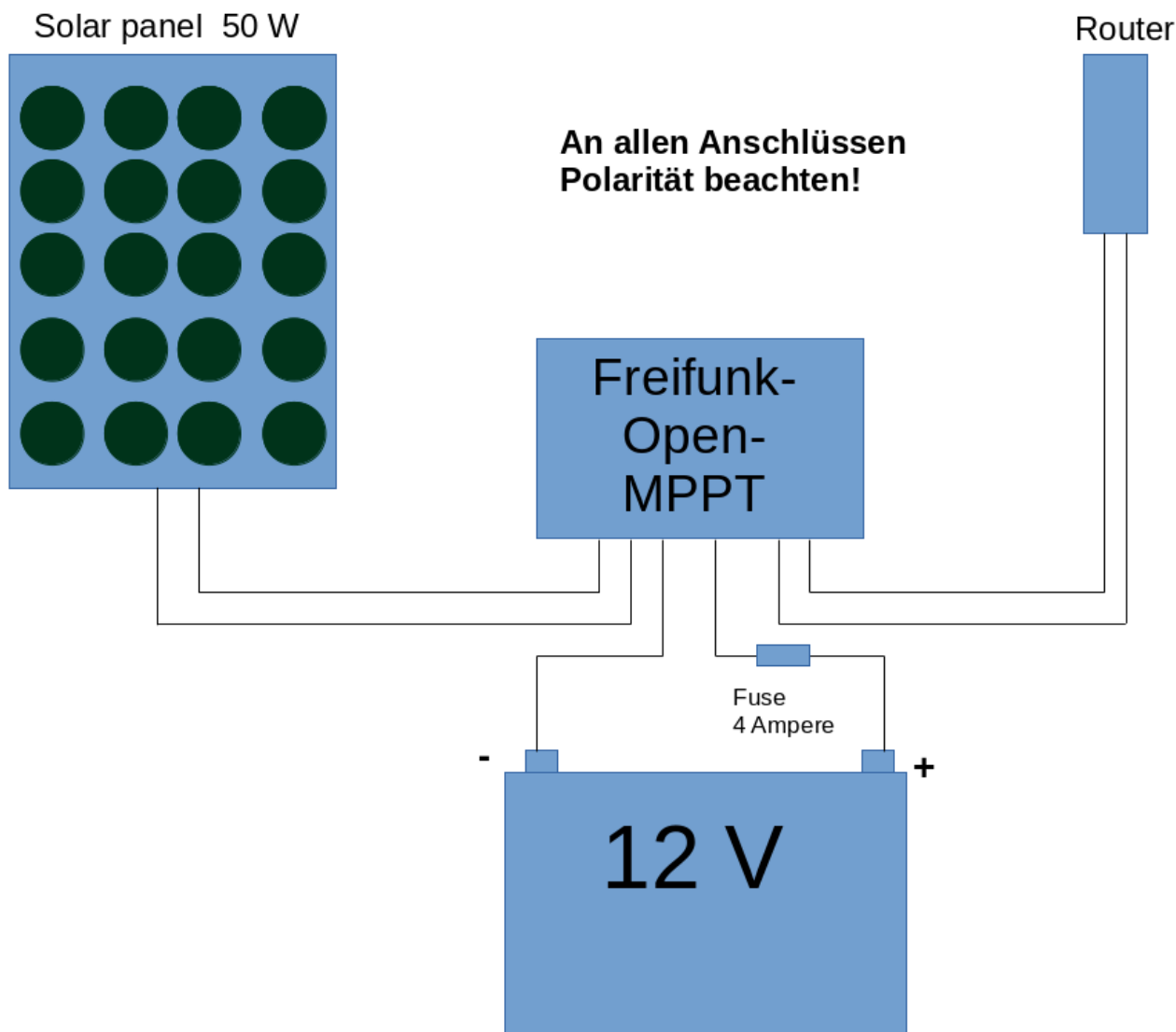
Zum Abschluss nochmal einen prüfenden Blick auf die Platine werfen. Alles richtig verlötet, keine Lötbrücken versehentlich angelegt, die nicht dazu gehören? Alle Teile richtig herum eingelötet? (Verpolte Becherelektrolytkondensatoren verabschieden sich mit einem Knall und viel chemischem Gestank.)

Inbetriebnahme

Für den ersten Test solltet Ihr ein Labornetzgerät verwenden und dessen Strombegrenzung nutzen, damit Ihr sicher seid, dass kein Fehler/Kurzschluss vorliegt, bevor Ihr das Gerät an einen Akku anschliesst. Wenn Ihr doch den MPPT gleich an die Batterie anschliesst, unbedingt die Sicherung einbauen! Trotzdem: Lieber vorher mit Labornetzgerät testen.

Beim Labornetzgerät die Strombegrenzung auf <50 mA einstellen und den MPPT an den Batterieanschlüssen anschließen. Spannung auf etwa 12 Volt einstellen. Wenn jetzt die Strombegrenzung nicht aktiv wird habt Ihr keinen Kurzschluss gemacht und die Dioden sind richtig herum eingebaut.

Anschlussbild



Den MPPT niemals ohne passende Sicherung in der Plusleitung zum Akku betreiben! Ein 12 Volt-Akku hat zwar eine berührungssichere Spannung, kann aber bei einem Kurzschluss sehr große Ströme abgeben! Es kann ohne Sicherung dazu kommen, dass die Kabel zu glühen anfangen, bis die dünnste Verbindungsstelle regelrecht verdampft. Normalerweise ist das die Sicherung - falls vorhanden. Die Folge eines Kurzschlusses ohne Sicherung kann ein **Feuer** sein. Also: Nie ohne Sicherung betreiben!

Wichtig ist es – wie bei allen elektronischen Geräten mit Gleichspannung – beim Anschließen von Akku, Verbraucher, Solarmodul Plus und Minus nicht zu vertauschen. Wenn Ihr die Batterie verpolt anschliesst, dann brennt die Sicherung durch. Ist keine Sicherung dazwischen vorhanden, kann der Schaden schnell unübersichtlich und teuer werden. Die 4 Ampere-Sicherung nicht durch eine leistungsstärkere Sicherung ersetzen! Eine schwächere Sicherung kann man nehmen, wenn Ihr wisst, dass der Wert für Eure Anwendung ausreicht.

Die Kabel zwischen Akku und MPPT sollten nicht zu lang ausgeführt sein und der Querschnitt muss wegen der erforderlichen Strombelastbarkeit mindestens 0,5mm² betragen. Allerdings geht bei 0,5mm² schon viel Energie verloren. Wir empfehlen daher, mindestens 1,5mm² Querschnitt zu nehmen. Bis 6mm² passen in die Lüsterklemmen des Bausatzes. Das wäre in den meisten Fällen

aber übertrieben, außer Ihr braucht eine längere Verbindungsleitung. Am besten nehmt Ihr rotes Kabel für Plus und Schwarzes für Minus, das ist international so üblich.

In welcher Reihenfolge Ihr die Stromkreise anschliesst, ist relativ egal. Einen kleinen Vorteil habt Ihr, wenn Ihr zuerst das Solarmodul anschliesst. **Achtet aber darauf, keinen Kurzschluss auf dem Solaranschluss zu machen, wenn der Akku schon angeschlossen ist, oder aber das Solarmodul verkehrt herum anzuschließen.** Vor allem dann nicht, wenn der Akku schon dran ist! In diesem Fall riskiert Ihr, dass die Bypass-Dioden im Solarmodul durchbrennen. Man kann sie zwar in der Regel in der Anschlussbox im Solarmodul ersetzen, es ist aber ärgerlich.

Der MPPT hat keine Dunkelstrom-Diode zwischen dem MPPT und dem Solarmodul, d.h. Strom kann aus dem Solaranschluss fließen, wenn der Akku angeschlossen ist. In den meisten Solarladeregler findet sich eine solche Diode, damit sich der Akku nicht über Nacht über das Solarmodul entlädt. Allerdings verbraucht die Dunkelstrom-Diode beim Laden des Akkus tagsüber wesentlich mehr Energie als der Dunkelstrom nachts verbraucht. Wir haben nachgemessen und -gerechnet. Gemessen haben wir 2,2 mA Dunkelstrom bei einem voll geladenen Akku mit 13 Volt und einem 40 Watt Solarmodul mit 18 Volt MPP. Daraus ergibt sich ein Verlust von 26,6 mW pro Stunde bei völliger Dunkelheit. (Dabei war das Solarmodul 20 Grad warm. Bei tieferen Temperaturen sinkt der Dunkelstrom ab. Sinkt die Batteriespannung, sinkt der Dunkelstrom.) Baut man eine groß dimensionierte Dunkelstromdiode ein, um die Verluste tagsüber zu minimieren (Schottky, z.B. SK84C) gehen beim Laden zwischen 0,18 und 0,4 Volt verloren, je nachdem wie viel Strom fließt. Selbst wenn der Ladestrom aus dem Modul nur 0,2 Ampere beträgt, ist der Verlust tagsüber pro Stunde schon doppelt so groß wie in einer Stunde in der Nacht. Einen Vorteil hat eine solche Diode aber: Man kann ungestraft einen Kurzschluss auf der Solarleitung machen oder das Solarmodul verkehrt herum anschliessen. Ihr könnt natürlich selbst eine Schottkydiode in die Solarleitung einbauen, falls Ihr das für nötig haltet.

Auch für die Solarleitungen gilt, dass 0,5mm² das absolute Minimum darstellen. Nehmt hier ebenfalls 1,5mm² oder mehr, wenn die Verbindung zum Solarmodul länger als einen Meter ist.

Auch elektronische Verbraucher geht in der Regel kaputt, wenn Ihr Plus und Minus vertauscht. Wenn Ihr Pech habt, ist Euer Gerät danach nicht mehr reparabel.

Beschreibung der Elektronik

Der Freifunk-OpenMPPT besteht aus zwei Baugruppen:

- * Einem MPPT-Controller, der mit einem Atmel 8-Bit Mikrocontroller und einem Operationsverstärker implementiert ist

und

- * Einem getakteten DC/DC-Abwärtsspannungswandler mit hohem Wirkungsgrad

Der MPPT-Controller steuert den DC/DC-Abwärtsspannungswandler. Sinkt die Eingangsspannung unter die berechnete MPP-Spannung, erhöht der MPPT-Controller den Eingangswiderstand des DC/DC-Abwärtsspannungswandlers, so dass das Solarmodul im Punkt maximaler Leistung läuft.

Ursprünglich haben wir einen Drei-Punkt-Algorithmus mit Strommessung zur Ermittlung des MPP vorgesehen. Es hat sich aber bei unseren Versuchen gezeigt, dass das erstens wesentlich

aufwendiger und zweitens wesentlich weniger effektiv ist als die Messung der Leerlaufspannung zur Berechnung des MPP.

Bootloader und Firmware

Der Mikrocontroller hat einen seriellen Bootloader. Jedesmal, wenn man den MPPT mit Strom versorgt wartet der Bootloader 8 Sekunden auf den Beginn der Übertragung einer neuen Firmwaredatei. Wichtig ist nur, dass sie innerhalb von 8 Sekunden beginnt.

Kommt keine neue Firmwaredatei, startet der Bootloader die Firmware. Ist der Upload einer neuen Firmwaredatei abgeschlossen, startet das System ebenfalls automatisch.

Die serielle Schnittstelle hat einen Pegel von 3,3 Volt. Höhere Pegel dürfen nicht verwendet werden, sonst wird der 8-Bit-Controller zerstört.

Man kann zur Kommunikation/Firmware-Upload mit dem MPPT z.B. die serielle Schnittstelle eines WLAN-Routers, einen seriellen 3,3 V Pegelwandler oder die serielle Schnittstelle eines Einplatinenrechners wie den Raspberry-Pi verwenden.

Für den WLAN-Router und den Einplatinenrechner muss man nur drei Verbindungen für die serielle Schnittstelle herstellen:

TX an RX
RX an TX
GND an GND

Verwendet man einen seriellen Pegelwandler zusätzlich:

3,3 V an 3,3 V
TX an RX
RX an TX
GND an GND

Im WLAN-Router/Einplatinenrechner muss man die serielle Administrationskonsole deaktivieren (z.B. über die Datei `/etc/inittab`) und einen Neustart.

Der geänderte Inhalt der `/etc/inittab` in einem Router mit LEDE/OpenWRT:

```
::sysinit:/etc/init.d/rcS S boot
::shutdown:/etc/init.d/rcS K shutdown
#::askconsole:/usr/libexec/login.sh
```

Das #-Symbol deaktiviert die Zeile, die die serielle Linux-Administrationskonsole startet. Nach der Änderung neu starten.

Wichtig: Nach dieser Änderung kann man das Linux-OS des Routers nicht mehr über die serielle Schnittstelle debuggen.

Zum Upload der Firmwaredatei genügt der Befehl:

cat main.hex > /dev/ttyUSB0 (wenn ttyUSB0 eure serielle Schnittstelle zum MPPT ist)

Die Einstellungsparameter für die serielle Schnittstelle sind 9600 Baud, 8-N-1, keine Hardware-Flowcontrol.

Diese Einstellung kann man z.B. über den Kommandozeilenbefehl stty vornehmen:

```
stty -F /dev/ttyUSB0 9600
```

Es geht ebenfalls mit "screen" oder man verwendet eine Terminal-Software wie Minicom oder Putty.

Hinweis: Damit der MPPT-Controller den Bootloader aktiviert muss sowohl die Stromversorgung über das Solarmodul und den Akku unterbrochen sein. Wenn man nur den Stromkreis zum Akku unterbricht, wird bei Sonneneinstrahlung der Controller über das Solarmodul weiter laufen.

Ihr könnt den uC nicht über den seriellen Bootloader "zerflaschen". Also keine Angst. Wenn Ihr eine falsche Datei hochladet, einfach den MPPT neu bestromen. Er wartet dann brav auf eine neue Firmware.

Firmware

Firmware-Quelltext und fertig compilierte Firmware gibt es auf Github. Schaut ab und zu mal vorbei. Die Firmware entwickelt sich noch weiter. Oder Ihr forkt und verändert sie selbst.
<https://github.com/elektra42/freifunk-open-mppt>

Die Firmware ist in C geschrieben, die Entwicklungsumgebung ist AVR-GCC. Die Quelltexte sind im Ordner »uC-Sourcecode«. Die AVR-GCC-Entwicklungsumgebung lässt sich unter Debian, Ubuntu mit dem Befehl

```
sudo apt-get install avr-gcc
```

installieren.

Hier ein einfaches Beispiel, wie Ihr eine Veränderung in der Firmware macht.

Am Anfang der Datei main.c findet Ihr diese Zeilen:

```
/* Voltages are in mV */  
uint16_t v_out_max = 14200; //Charge end voltage in mV  
uint16_t v_load_off = 11700; //Low voltage disconnect voltage in mV  
uint16_t v_load_on = 12300; //Low voltage disconnect enable voltage in mV
```

Hier wird die Ladeendspannung, der Abschaltpunkt und die Wiedereinschaltspannung für den Verbraucherausgang definiert. Angenommen, Ihr wollt in Eurer Firmware einen Akku nur bis 13,8 Volt laden, dann tragt einfach in der zweiten Zeile statt 14200 13800 ein. Oder Ihr wollt bei einer höheren / niedrigeren Spannung die Verbraucher an- oder abschalten.

Der Verbraucherausgang des MPPT wird natürlich auch über die Software gesteuert. Im Normalfall ist die Funktion des Verbraucherausgangs der Tiefentladeschutz. Wird der Akku zu leer, werden die Verbraucher abgeschaltet. Z.B. könnt Ihr die Firmware so ändern, dass der Verbraucherausgang nur dann eingeschaltet wird, wenn aus dem Solarmodul weniger Spannung kommt als in der Batterie ist

und solange der Akku voll ist. Damit habt Ihr einen Dämmerungsschalter um z.B. eine solarbetriebene Beleuchtung zu bauen.

Nachdem Ihr die Datei mit Euren Änderungen gespeichert habt, führt Ihr auf der Konsole in dem Ordner mit der Datei main.c den Befehl "**make**" aus. Es entsteht eine neue Datei mit dem Namen main.hex. Diese könnt Ihr über die serielle Schnittstelle in den MPPT übertragen. Voila!