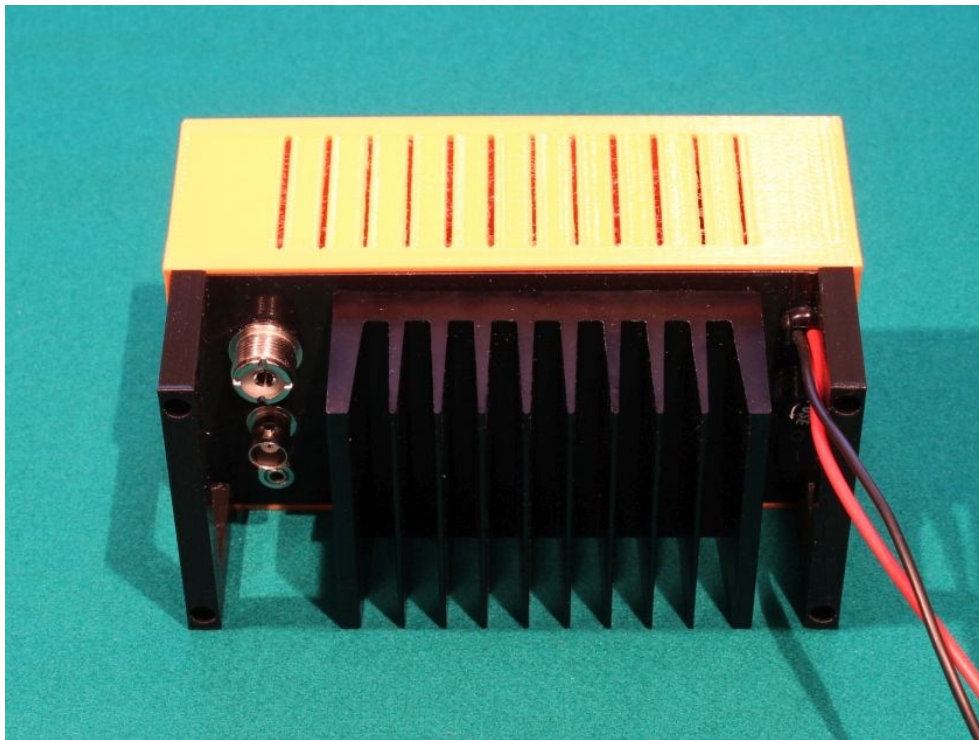


50 W HF-Verstärker

**Erweiterung eines Bausatzes um
Tiefpassfilter und Gehäuse zu einem
einfach aufzubauenden Verstärker**



Christoph Schwärzler, *OE1CGS*

Februar 2018

Extended abstract

Sometimes even the keen QRP enthusiast might reach for one or the other additional Watt of output power. To meet this demand there is a bunch of power amplifiers (PAs) on the market. Mostly they are finished devices and require an investment of at least one to several hundred Euros. But many QRP hams also like to build gear on their own, especially if there is a kit available. And there are actually really cheap kits for PAs out there, distributed typically online. Unfortunately most of them come with no or very minor documentation which can be a hurdle for many would-be builders.

One of those kits is the “DIY Kits 70W SSB linear HF Power Amplifier for YAESU FT-817 KX3 Ham Radio” which is available for less than 20 € including shipping¹. This article describes how to build a fully functioning power amplifier around this kit. By fully functioning I mean a device which is compliant with the rules (i.e. FCC on spurious emissions), is enclosed in a protecting case with all the necessary connections and switches and thus can be used in the field as well as in the shack. It is also automatically switched by any low-active PTT as can be found in most transceivers. I personally will use this PA on board of a sailing yacht on 40, 30 and 20m together with a QRP SDR transceiver.

My goal (chapter 1. Motivation) with this PA was to come up on a “lowest cost” and “least effort” basis. By least effort I mean a design which minimizes electronic and especially mechanical work involved. This is achieved by sticking to the original kit parts as much as possible, using a DIY-fit design for the low pass filters, a downloadable object for a rugged 3D-printed enclosure and an overall builder friendly mechanical design.

The result is a power amplifier for at least two to three ham bands which can be built in about 6 to 8 hours. The cost of material is around 50 €. It runs on 12 to 14 V DC and draws about 5 to 6 A at 30 W. Once you got hold of the main components (amplifier kit, LPF PCB and 3D-prints) this makes a nice week-end project.

For those who want to go further I present some ideas for modifications at the end of the document. This amplifier indeed offers a lot of leeway to tinker around!

The amplifier kit itself is built (chapter 2. Aufbau des Bausatzes) very much according to its original design and as described in several other documentations and videos⁹. But I highly recommend at least one modification, which is described in detail in the appendix (ANHANG A). This is to add a balancing resistor R6 of 22 Ω / 1 W which brings the input SWR much closer to 1. I found another modification (ANHANG B) to

replace the switching transistors delivered with the kit by guaranteed quality IRF530Ns not absolutely necessary, however it might well be that one has to buy new ones anyway after some ambitious testing. The finished PCB must be mounted on a heat sink, which is not included in the kit. I use one measuring 100 x 75 x 40 mm and with a thermal resistance of 1.5 K/W¹⁰. A drilling template (Bild 3) for any heat sink is provided for downloading. M3 threads² have to be cut in those holes. All parts are soldered on the top side of the PCB, which implies that the pins of the relays have to be bent sideways. Please allow for about 2 to 3 working hours to finish the amplifier board. I could not get hold of the proper connectors for the provided jumpers but found that BKL connectors¹¹ work quite well, once they have been cut just a little bit (Bild 2). After the PCB is tightened directly to the heat sink with 4 screws the switching transistors are fastened using the provided isolators and finally soldered to the board. It is advisable to only then solder R4 and R5.

Once the amplifier board is finished it should be carefully tested. Don't forget the jumper between LPF-IN and LPF-OUT for these tests. Also keep in mind that you have to activate the PTT (for example by shorting the contacts of the PTT-connector) in order to generate an amplified output signal. It is best to use a voltage regulated and current limited power supply for the initial tests. I advise on a bias of 2.7 V for generic IRF530N switching transistors. With this setting the amplifier should draw about 20 mA at 12.8 V with no input signal present.

Chapter 3 (Aufbau der Tiefpassfilter) deals with three methods to build the low-pass filters (LPFs). At first glance the simplest method seems to be a breadboard. But this approach is neither fastest to build nor an ideal HF-design. Much better is a double layer etched PCB which could be etched at home (e.g. toner transfer method, design is downloadable for private use¹³) or ordered from a professional service (Gerber files for private use are provided¹⁴, cost between 2 and 10 €). Such a filter-PCB carries two 7-element Chebycheff LPFs, the relays to switch them and the jumpers to connect the board. It has the same dimensions as the amplifier board and can be stacked with the same screws on top of the amplifier. If more than two LPFs are necessary, two or more LPF-PCBs can be used in series as described in the appendix (ANHANG D: LPFs für weitere Bänder).

The necessary inductance values for a 20m and 30/40m LPF board, together with recommended numbers of turns and lengths of wire for Amidon T68-6 toroids are given in chapter 3.

A bespoke case was designed for this PA. It can be 3D printed using the published parts. Its structure and some hints for printing are documented in chapter 4 (Gehäuse). A key feature of this project is the fact that all essential elements are mounted on the backside of the case using just 4 screws and spacers. This ensures an easy wiring and good serviceability later on. So in case you do not have access to a 3D-printer and are on a tight budget, just have the rear panel printed.

The following chapter 5 (Montage) describes in some detail how the whole PA is put together. It starts with listing all the required elements and then gives step by step instructions on how to put them together, including some pictures which should make it process obvious.

Measured parameters of the finished amplifier are provided in chapter 6 (Betriebsparameter). They suggest an optimal input power around 2 to 2½ W which leads to an output of 35 to 45 W at 40m. The output power declines slightly with frequency and on 20m the output reaches about 30 to 40 W. Although the amplifier kit is being promoted as a 70 W kit I came nowhere close to that level. Probably 50 W could be achieved, but without ventilation I rather suggest to stick to the 30 W area. The measured efficiency of the amplifier peaks around 45%.

Finally chapter 7 (Resümee und Ausblick) gives a brief summary and points to possible future work.

Zusammenfassung

Manchmal wünscht sich auch der eingefleischte QRP-Anhänger das eine oder andere Watt mehr. Die Industrie bietet dafür eine ganze Palette an Linearverstärkern an, oftmals aber zu Kosten die jene des Transceivers übersteigen. Seit jeher stellen aber gerade Verstärker auch interessante Selbstbauprojekte für Funkamateure dar. Gerade in letzter Zeit kamen zudem Bausätze auf den Markt, die über den Onlinehandel zu sehr attraktiven Preisen zu beziehen sind und den Weg zum fertigen Gerät massiv verkürzen.

Einer dieser Bausätze ist der “DIY Kits 70W SSB linear HF Power Amplifier for YAESU FT-817 KX3 Ham Radio”, welcher für deutlich unter 20 € inklusive Versandkosten zu bekommen ist¹. Auf ihn aufbauend wird im vorliegenden Artikel der Selbstbau eines praxistauglichen Verstärkers inklusive Tiefpassfilter, PTT-Steuerung und Gehäuse beschrieben. Er ist für eine Eingangsleistung von 2 bis 2½ Watt konzipiert und erzielt auf den Bändern von 40 m bis 20 m eine Ausgangsleistung von typisch etwas über 30 W, in der Spitze 50 W. Eine Leistung von 70 W, mit

denen der Bausatz beworben wird, halte ich für unrealistisch.

Wesentliches Ziel bei diesem Projekt war die Optimierung hinsichtlich Kosten- und vor allem Aufwandseffizienz. Letztere äußert sich u.a. in einem mechanischen Design, welches einen raschen Aufbau und gute Servicemöglichkeit erlaubt. Ein zentrales Element dieses Designs stellt ein 3D druckbares Gehäuse dar. Der gesamte Aufbau dieses Geräts kann in 6 bis 8 Arbeitsstunden und zu Materialkosten von rund 50 € durchgeführt werden, wobei ein wesentlicher Anteil auf die Ringkerne und Glimmerkondensatoren der Tiefpassfilter entfällt.

Die vorliegende Dokumentation beschreibt zuerst den Aufbau der einzelnen Komponenten des Systems und anschließend im Detail den Zusammenbau derselben zum fertigen Produkt. Es folgt eine Zusammenstellung von gemessenen Leistungsdaten. Im Anhang befinden sich Hinweise auf mögliche Modifikationen, welche dem interessierten Bastler noch ein weites Betätigungsfeld erlauben. Schlussendlich unterstützt eine detaillierte Bauteilliste bei der Beschaffung der benötigten Materialien.

1.) Motivation

QRP-Funkgeräte erfreuen sich in den letzten Jahren einer steigenden Beliebtheit. Ein Grund mag darin liegen, dass sie dem bastelnden Funkamateure wieder die Gelegenheit geben, mit selbstgebaute Gerät aktiv zu werden. Und dies darüber hinaus in vielen Fällen zu geringen Kosten³, teilweise sogar für modernste Technik⁴. Manchmal jedoch wünscht sich der OM das eine oder andere Watt mehr, sei es um ungünstige Antennen- oder atmosphärische Bedingungen zu kompensieren oder doch einen lange angestrebten DX-Kontakt herstellen zu können. In meinem Fall war es der Wunsch, die Verlässlichkeit der mobilen Funkverbindung an Bord einer Segelyacht zu erhöhen. Der Handel bietet für diesen Zweck eine Palette an Linearverstärkern an, meist als Fertiggerät und zu einem Preis von mehreren hundert Euro. Aber auch hier kann der lizenzierte Funkamateure selbstbauend aktiv werden.

Im Internethandel ist der Bausatz „DIY Kits 70W SSB linear HF Power Amplifier for YAESU FT-817 KX3 Ham Radio“ inklusive Versand für unter 20 € erhältlich¹. Er bildet die Basis für den hier beschriebenen KW-PA. Der Bausatz ist als Push-Pull Verstärker konzipiert und in der Bausatzform mit zwei IRF530N Transistoren für einen Betrieb mit 13,8 V ausgelegt. Der Bausatz inkludiert eine low-active PTT Umschaltung und ist damit für den Einsatz an vielen, gängigen QRP Transceivern vorbereitet. Dementsprechend ist die

zugrundeliegende Schaltung bzw. auch die Platine in dieser oder ähnlicher Form auch in weiteren Bausätzen und Fertiggeräten zu finden⁵. Dem experimentierfreudigen Bastler eröffnet sich damit ein breites Betätigungsfeld, wovon einige Möglichkeiten im Anhang beschrieben sind.

Nicht im Bausatz enthalten sind der absolut notwendige Kühlkörper, ein für den Einsatz ebenfalls unumgänglicher, ausgangsseitiger Tiefpassfilter (LPF) und ein Gehäuse um einen praxistauglichen Verstärker zu erhalten.

Mein Ziel bei diesem Projekt war es, für meine QRP Transceiver mit 1 bis 5 W Ausgangsleistung einen möglichst günstigen, aber voll mobil einsatzfähigen, Verstärker für den Betrieb an einem 12V Bordnetz zu erstellen. Bevorzugtes Einsatzgebiet sollten digitale Betriebsarten aber auch SSB zwischen 40m und 20m sein.

Diesem minimalistischen Ziel ist es auch geschuldet, dass aus einer ganzen Fülle an möglichen Modifikationen und Erweiterungen (siehe dazu auch Anhänge) nur absolut notwendige durchgeführt wurden sowie beim Entwurf der Tiefpassfilter und des Gehäuses auf eine möglichst einfache Realisierbarkeit geachtet wurde. So kann die Platine für die Tiefpassfilter durchaus noch mit Hobbymitteln selbst erstellt werden. Die einzige, (noch) nicht selbstverständliche Anforderung ist der Zugang zu einem 3D-Drucker für die Erstellung des Gehäuses. Neben vielen Maker-Vereinen werden diese Geräte aber zunehmend der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt⁶ und jedenfalls können die bereitgestellten Objektdateien von jedem 3D-Druckservice umgesetzt werden.

Ich möchte mit dieser Dokumentation auch jenen Funkamateuren, die noch etwas Scheu vor einem derartigen Projekt haben, eine detaillierte Anleitung an die Hand geben, mit welcher der Selbstbau eines einsatzbereiten Gerätes in kürzester Zeit gelingt. Sobald die Komponenten (Bausatz, Kühlkörper, Gehäuse- und Kleinteile) vorliegen, sollte es mit dieser Anleitung jedem Funkamateur möglich sein, das fertige Gerät nach 6 bis 8 Arbeitsstunden in der Hand zu halten. Eine detaillierte Bauteilliste samt Bezugsquellen befindet sich im Anhang. Für den Zusammenbau genügt eine durchschnittlich ausgestattete Werkstatt; hervorzuheben sind dabei nur die folgenden Werkzeuge: M3-Gewindeschneidsatz, SMD-tauglicher Lötkolben und großer Lötkolben mit breiter Spitze (5 bis 8 mm). Für den Aufbau der Tiefpassfilter gibt es mehrere Möglichkeiten. Sicherlich ist es möglich, die paar Bauteile auf einer Lochrasterplatine (100 mm x 50 od. 75 mm) aufzubauen. HF- und arbeitstechnisch vorteilhafter ist jedoch die Benutzung einer doppelseitigen Platine. Diese kann z.B. im Toner-Transfer-Verfahren selbst hergestellt werden, oder

bei einem Platinenservice bestellt werden. Für beide Fälle sind die Dateien verfügbar.

Abhängig vom Zugang zu einem 3D-Drucker und der Art der Platinenherstellung für den LPF werden sich die gesamten Teilekosten für den kompletten Verstärker zwischen 35 € und 70 € bewegen. Skaleneffekte lassen sich sicherlich v.a. im Zusammenhang mit der Platinenherstellung und der Beschaffung von Kleinteilen erzielen und so ist ein Aufbau mehrerer Geräte im Rahmen eines Vereinsprojektes wohl eine attraktive Option.

Es ist empfehlenswert, dieses Dokument und ggf. darin verwiesene Lektüre vollständig und gründlich durchzulesen bevor mit der Bauteilbeschaffung oder dem Aufbau begonnen wird. Sollten danach noch Fragen offen sein, so beantwortet der Autor im Einzelfall diese gerne⁷.

2.) Aufbau des Bausatzes

Der Bausatz für den Verstärker ist sehr günstig im Chinaversandhandel zu bekommen. Die Platine ist in guter Qualität ausgeführt und sämtliche Bauteile⁸ sind beigelegt (siehe Bild 1). Wie bei derartigen Bausätzen häufig der Fall, sind aber keinerlei Dokumentationen, Schaltpläne oder gar Aufbauhinweise enthalten. Hier bietet aber das WWW vielfältige Informationsmöglichkeiten⁹ und auch YouTube-Anleitungen sind verfügbar.

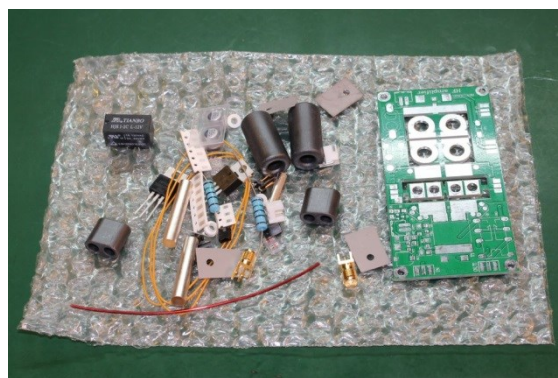


Bild 1: So wird der Bausatz „DIY Kits 70W SSB linear“ geliefert

Nicht enthalten ist im Bausatz der Kühlkörper. Der von mir verwendete¹⁰ hat die Dimensionen 100 x 75 x 40 mm und einem Wärmewiderstand von 1,5 K/W. Das später beschriebene Gehäuse passt jedenfalls für diesen Kühlkörper. Aber auch andere, zufällig in der Bastelbox vorhandene Kühlkörper können benutzt werden, sofern sie keinen höheren Wärmewiderstand aufweisen. Soll das später beschriebene Gehäuse benutzt werden, so muss der Kühlkörper mit den Gehäusedimensionen samt Anschlüssen (siehe Kapitel 4) vereinbar sein und sollte daher eine Breite von 110 mm und eine Tiefe von 80 mm nicht überschreiten. Auch die Stecker für PTT- und Ventilator (optional) sind leider nicht

im Bausatz enthalten. Ich habe keinen direkt passenden Teil gefunden. Am besten passte noch ein Stecker von BKL¹¹, bei welchem nur die beiden kleinen Stege (Bild 2) entfernt werden müssen. Dies gelingt mit einem Messer sehr einfach.

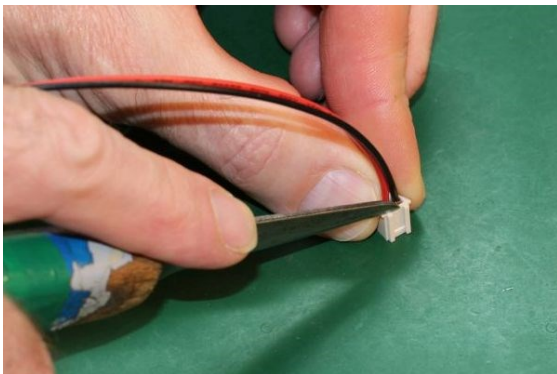


Bild 2: Präparierung der Stecker für PTT und Ventilation

Der Aufbau des Bausatzes benötigt insgesamt rund 2 bis 3 Stunden Arbeitszeit. Es empfiehlt sich, mit der Bearbeitung des Kühlkörpers zu beginnen. In ihn müssen sechs M3 Gewinde geschnitten werden. Vier davon dienen der Montage am Gehäuse sowie der Befestigung der Platinen (Verstärker und Tiefpassfilter) und mit den zwei weiteren werden die IRF530N am Kühlkörper befestigt. Zur Erleichterung der Bohrungen (2,5 mm) habe ich eine Bohrschablone (Bild 3) angefertigt, die im pdf-Format verfügbar ist¹². Wird die Schablone mit Klebeband auf dem Kühlkörper fixiert, so sind die Bohrungen, welche als Sack- oder Durchgangslöcher ausgeführt werden können mit dieser Schablone schnell erledigt. Anschließend werden die Gewinde geschnitten.

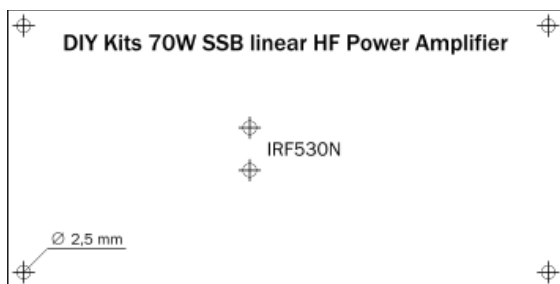


Bild 3: Bohrschablone für den Kühlkörper (nicht Größenrichtig)

Nach dem Reinigen der Platine ist der erste Schritt beim Aufbau des Bausatzes, die vier Seitenteile der Transformatoren T1 und T2 aus der Platine herauszulösen (Bild 4). Nun werden T1 und T2 aufgebaut indem die Metallröhrchen durch die Kerne geschoben und an den Enden mit den soeben geschnittenen Platinenteilen verlötet werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Seitenteile parallel sind, denn sie werden später plan auf die Grundplatine aufgelötet. Das Bewickeln von T1 und T2 erfolgt am besten erst nachdem die Kerne mit der Platine verlötet sind.

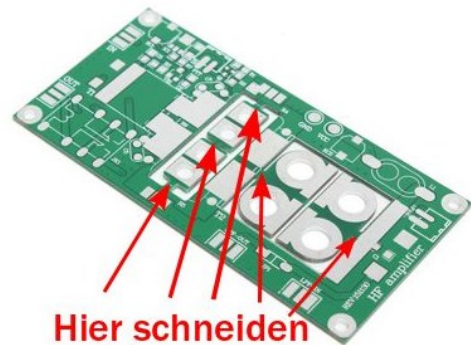


Bild 4: Trennen der Seitenteile für T1 und T2 aus der Platine

Der weitere Aufbau des Bausatzes gestaltet sich zusammen mit dem Schaltplan (Bild 21) und Bildern von der bestückten Platine aus dem WWW recht einfach. Auch die paar SMD-Bauteile sind noch vernünftig von Hand zu verlöten. Noch nicht eingelötet werden sollten die beiden IRF530N Transistoren sowie R4 und R5, dies erfolgt erst nachdem die Positionen der Transistoren und die Lage der Platine auf dem Kühlkörper fixiert sind.

Natürlich kann der experimentierfreudige Funkamateure versuchen den Bausatz durch Austausch von Bauteilen oder sonstige Modifikationen zu verbessern. Eine Möglichkeit ist z.B. der Ersatz der beiden IRF530N Transistoren durch spezielle HF-Power FET wie sie im Anhang C skizziert ist. Aber diese Modifikation ist nicht unbedingt erforderlich, wenngleich sie sicherlich die Leistungsfähigkeit erhöht. Zur sehr preiswerten Modifikation B würde ich allerdings raten, obwohl auch sie nicht zwingend erforderlich ist.

Einzig die Modifikation A (zusätzlicher Widerstand R6) empfehle ich auf jeden Fall durchzuführen!

Für die weiteren Ausführungen in diesem Dokument, insbesondere auch die Messungen im Anhang gehe ich davon aus, dass genau die Modifikationen A und B durchgeführt werden.

Alle Bauteile werden auf der Platinenoberseite verlötet, dies führt dazu, dass die Anschlüsse für das mitgelieferte PTT-Relais mit einer feinen Zange um 90° nach außen gebogen werden müssen, und das Relais so auf der Oberseite verlötet wird. Das gleiche Verfahren wird auch bei R4, R5 und R6 angewandt. Nachdem die üblichen Bauteile angelötet sind (von einigen SMD-Bauteilen können evtl. zu viele im Bausatz enthalten sein, diese gehen dann einfach in die Bastelbox) werden die beiden Transformatoren auf der Platinenoberseite verlötet. Dazu sollte idealerweise ein LötKolben mit einer breiten (5-8 mm) Meisselspitze und einer Leistung ab 30 W benutzt werden. Das vorherige Präparieren der Lötstellen mit ausreichend Flussmittel wirkt bei diesem Arbeitsschritt wahre Wunder! Die Transformatoren T1 und T2 sind als klassische

Übertrager mit Primär- und Sekundärwicklung ausgeführt. Wer nun aber die entsprechenden Wicklungen sucht, kann überrascht werden. Auf jeden Transformator wird nur ein Draht wirklich gewickelt! Die jeweils zweite „Wicklung“ sind die zuvor gelöteten Röhrchen durch die Ferrite. Im Schaltplan werden sie als „0,5“-Wicklungen bezeichnet. Bei beiden Transformatoren muss daher nur mehr eine Wicklung selbst aufgebracht werden und zwar so, dass ihre Enden mit den jeweils zwei Löt pads Richtung Platinenseitenrand verlötet werden. Dies geht sehr einfach, wenn der Draht passend abgelängt, einseitig abisoliert und mit dem einen Pad verlötet wird. Dann wickelt man den Draht, beginnend mit der nächstgelegenen Öffnung durch die Röhrchen. Für T1 werden zwei Windungen gewickelt. Das bedeutet: Einmal durch das erste Röhrchen hinüber und das andere Röhrchen zurück, dann nochmals durch das erste Röhrchen hinüber und das zweite zurück. Jetzt liegt der Draht über dem anderen Löt pad, wird passend gekürzt, abisoliert und mit dem Pad verlötet. Fertig! T 2 soll mit drei Windungen bewickelt werden. Dazu wie bei T1 vorgehen, nur eben noch einmal mehr hin und zurück.

Um die fertig aufgebaute Platine testen zu können, werden nun noch die beiden Leitungen für VCC und GND sowie zwei kurze Stück Koaxialkabel an „IN“ und „OUT“ angelötet. Die Löt pads „LPF-IN“ und „LPF-OUT“ bleiben für diese Tests noch leer, dafür muss aber der Jumper „JP1“ so gesetzt werden, dass das HF-Signal durchgeschleift wird. Als Koaxialkabel sowohl für diese Tests als auch später für die interne Verkabelung des Verstärkers hat sich bei mir RG 316 bestens bewährt. Wenn jetzt noch am anderen Ende des Koaxialkabels BNC-Buchsen angebracht werden, so kann das Gerät in Kürze bequem getestet werden.

Vorher wird die Platine noch mit vier kurzen M3 Schrauben direkt (die Unterseite ist isoliert) auf den Kühlkörper geschraubt. Unmittelbar davor sollten die gummiartigen Isolierplättchen so auf den Kühlkörper aufgelegt werden, dass sich die Löcher über den gebohrten Gewinden befinden und der übrige Teil des Isolators vom Loch weg zum oberen bzw. unteren Kühlkörper rand zeigt. Nach dem Befestigen der Platine werden die beiden IRF530N (Vorsicht: ESD-empfindlich, daher auf Erdung achten) ausgemessen und deren Anschlüsse vorbereitet. Da es mir passiert ist, dass die heißen, damals plan auf der Platine aufliegenden Anschlüsse den Schutzlack der Platine zerstörten und es dadurch zum Kurzschluss und der endgültigen Zerstörung von Platine und Transistoren kam, empfehle ich die im folgenden beschriebene Vorgangsweise. Ziel ist es, die Anschlüsse ohne Kontakt über der Platine schwebend bis zum Beginn der Löt pads zu führen,

dann zu diesen senkrecht nach unten und danach auf den Löt pads bis etwas vor deren Ende. Dazu werden die Anschlüsse zweifach gebogen und zwar immer alle drei gemeinsam. Das erste Mal ca. 1 mm nach dem Ende deren verdickten Teils um 90° nach unten. Bereits 1 mm später werden die Anschlüsse wieder zurück in die ursprüngliche Richtung gebogen. Jetzt sollten sich die Transistoren so auf den Kühlkörper montieren lassen, dass die Anschlüsse zu Beginn der jeweiligen Löt pads diese von oben her erreichen und dann entlang deren Oberfläche zum Platinenrand hinlaufen. Allerdings ragen sie weiter über die Pads hinaus. Diese überstehenden Teile werden nun abgezwickt. Unter Zuhilfenahme der im Bausatz enthaltenen weißen Schrauben-isolierungen werden nun die Transistoren mit zwei kurzen M3-Schrauben endgültig am Kühlkörper befestigt. Erst jetzt werden die Anschlüsse verlötet. Es empfiehlt sich die Rückkopplungswiderstände R4 und R5 erst nach den Transistoren anzulöten. Da die Widerstände sich im Betrieb stark erhitzen, sollten sie mit langen Anschlüssen so in der Luft montiert werden, dass eine gute Konvektions-kühlung gewährleistet ist. Der Bausatz ist nun fertig (Bild 5)!

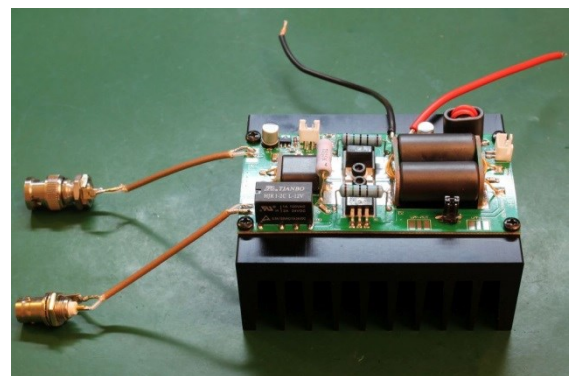


Bild 5: Fertig aufgebauter und testbereiter Verstärkerbausatz

Vor den ersten, heißen Tests sollte die Platine wie üblich noch einmal einer genauen Sichtkontrolle unterzogen und das Gerät auf (keinen) Kurzschluss überprüft werden.

Wenn zur Hand, sollten die folgenden Tests mit einem strombegrenzbaaren Labornetzteil bei 12 bis 14 V durchgeführt werden, wobei für den Anfang ein Strombereich bis 2 A ausreichend ist. Unter Volllast benötigt der Verstärker später aber durchaus bis zu 8 A, diese Tests können ersatzweise aber auch mit dem, durch die Sicherung geschützten fertigen Gerät an einer KFZ-Batterie durchgeführt werden.

Ohne passendes Labornetzteil sollte zwischen die 12 V Versorgung und den Verstärker zumindest bei den ersten Versuchen ein Leistungswiderstand mit rund 10 Ω eingefügt werden. Er soll im Fehlerfall

die Transistoren und die gesamte Platine vor Schlimmerem schützen.

Für den im Folgenden beschriebenen Smoke Test bleibt der Eingang des Verstärkers kurzgeschlossen oder zumindest offen, der Ausgang kann offenbleiben, oder wird besser bereits jetzt mit einer leistungsstarken 50 Ω Phantomantenne abgeschlossen.

Das Verhalten der Leistungstransistoren IRF530N wird wesentlich von der Vorspannung (Bias) an deren Gate beeinflusst. Daher sollte der Bias im ersten Schritt mit dem Trimmer VR 1 auf einen Wert von 2,7 V eingestellt werden. Am bequemsten ist der Bias auf der Sekundärseite von TR1 (Bild 6) zugänglich und wird hier gegen Masse gemessen.

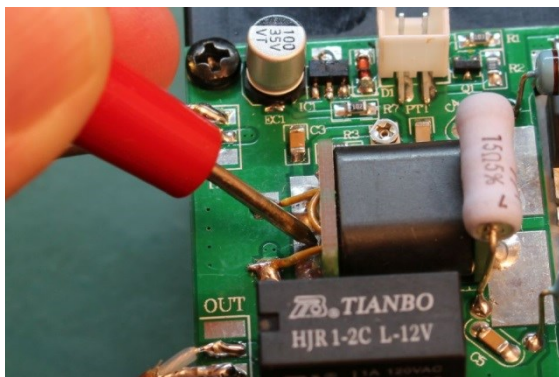


Bild 6: Messpunkt für die Bias-Einstellung

Wenn nun trotz anliegender Versorgungsspannung keine Biasspannung gemessen wird, so liegt dies vermutlich daran, dass die PTT-Schaltung noch nicht aktiviert ist. Diese ist low-active und wird über den Stecker „PTT“ angesteuert. Nur wenn die beiden Kontakte des Steckers miteinander verbunden werden (z.B. mit dem mitgelieferten Kurzschlussstecker) wird die Biasspannung erzeugt und damit der ganze Verstärker aktiviert. Im späteren Betrieb wird dann der Transceiver ebendiese Steuerung selbst vornehmen.

Bei einem Biaswert von 2,7 V sollte der Leerlaufstrom des Verstärkers etwa 20 bis 25 mA betragen. Man hört beim Anlegen der Versorgung bzw. Aktivieren der PTT kurz das Anziehen des PTT-Relais.

Weder die Leistungstransistoren, noch die Widerstände R4, R5 und R6 noch die beiden Transformatoren sollten auch bei einem mehrminütigen Leerlaufbetrieb nennenswert warm werden.

Ist der Leerlauftest erfolgreich, so kann nun ein kompletter Funktionstest durchgeführt werden. Spätestens jetzt muss der Verstärker unbedingt mit einer Impedanz von 50 Ω abgeschlossen werden. Idealerweise nimmt man dazu eine Phantomantenne, die mit mindestens 50 W belastbar ist.

Auch ist es vorteilhaft, wenn gleichzeitig das Ausgangssignal z.B. auf einem Oszilloskop überwacht werden kann.

Bei diesen Tests kann der Verstärker bis zu rund 8 A Strom benötigen. Sofern die verwendete Stromquelle diese nicht bereitstellen kann, müssen die Tests entweder mit geringerer Leistung oder z.B. an einer Autobatterie (s.o.) durchgeführt werden. Hilfreich ist es, den Versorgungsstrom zu messen und bei den folgenden Tests laufend zu überwachen.

Verfügt man über einen Antennenanalysator oder ein VNA, kann man vor dem Anschluss der Signalquelle noch die Impedanz des Verstärkereingangs überprüfen. Das SWV sollte zumindest auf den Bänder 40m bis 20m besser als 2:1 sein (siehe auch Anhang A).

Die Signalquelle für die Tests sollte ein Ausgangssignal von rund 0,5 bis 2 W liefern können. In Ermangelung einer speziellen Quelle, kann der eigene QRP-Transceiver benutzt werden, wobei man sich mit der Leistung von unten her nähern und das SWV im Auge behalten sollte.

Um die Kontakte des PTT-Relais zu schonen, sollte die PTT bereits vor Anlegen des Signals aktiviert und erst nach dem Ausschalten des Signals wieder geöffnet werden.

3.) Aufbau der Tiefpassfilter

Für den regulären Betrieb des Verstärkers ist die Verwendung eines nachgeschalteten Tiefpassfilters zur Unterdrückung der Oberwellen zwingend erforderlich. Im Sinne eines einfachen mechanischen Aufbaus habe ich dazu eine Platine entworfen, die neben zwei Filtern auch die dafür erforderliche Umschaltung aufweist und das gleiche Format (100 mm x 50 mm) wie die Verstärkerplatine hat. So kann sie mit den gleichen vier Schrauben wie diese mit dem Kühlkörper und dem Gehäuse verbunden werden.

Die Filter sind als 7-Element Tschebyscheff-Filter ausgeführt. Jeweils zwei Filter sind auf einer Platine untergebracht. Sind mehr als zwei Filter erforderlich, so können mehrere Platinen genutzt werden. Dies ist in Anhang D genauer beschrieben.

Jede Filterplatine muss mit 12 V – 14 V Gleichspannung für die Relais versorgt werden. Im Normalfall wird dies einfach die Versorgungsspannung des Verstärkers sein. Außerdem befindet sich ein dreipoliger Platinensteckverbinder (Typ: BKL) auf der Platine über welchen die Filterauswahl erfolgt. Dazu liegt an einem der drei Anschlüsse („+“) die Versorgungsspannung an. Wird keiner der beiden anderen Anschlüsse mit

dieser verbunden, so wird die HF direkt zwischen HF-IN und HF-OUT durchgeschleift. Es ist also kein Filter wirksam. Dies kann für Tests oder das Durchschleifen des Signals beim Einsatz von mehreren Filterplatinen benutzt werden. Wird hingegen der Anschluss „A“ mit „+“ verbunden, so wird der Filter A (bei Aufsicht auf die Platine mit den Relais auf der rechten Seite ist dies der obere Filter) zwischen „HF-IN“ und „HF-OUT“ eingeschleift. Ist hingegen der Anschluss „B“ mit „+“ verbunden, so wird der Filter B (der untere) durchlaufen.

Die beiden Platinensteckverbinder für die Versorgung und Filterauswahl werden so montiert, dass ihr Rückenteil zur Platinenmitte zeigt.

Für die Dimensionierung des Filters A für das 20m Band und des Filters B für die Bänder 30m und 40m ist in Bild 7 der Schaltplan der Filterplatine dargestellt. Sollen die Filter für andere Bänder dimensioniert werden, so sind nur die jeweiligen Induktivitäten und Kapazitäten zu ändern (siehe dazu Anhang D). Beim Filter B sind die erforderlichen Werte für die mittleren Kondensatoren dadurch realisiert, dass zwei Standardkondensatoren parallel geschaltet werden.

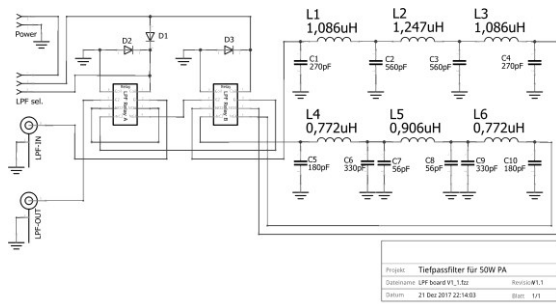


Bild 7: Schaltplan der Filterplatine für 20 m und 30/40 m

Die wesentliche Frage für den Erbauer ist wie der Filteraufbau erfolgen soll.

Ein Aufbau auf einer Lochrasterplatine ist sicherlich möglich. Die Platine sollte aber die Maße 100 mm x 50 mm aufweisen und an den Ecken 3 mm Bohrungen aufweisen, sodass sie mit langen Schrauben direkt über der Verstärkerplatine montiert werden kann. Aus HF-technischer Sicht wird diese Lösung allerdings suboptimal sein, da die Verbindungsleitungen keinen Wellenwiderstand von 50 Ω aufweisen werden. Außerdem wird ein guter Teil der Zeit, welche man sich bei der Platinenherstellung erspart beim Aufbau und der Verbindung der Bauteile wieder verloren gehen.

Die zweite Möglichkeit ist, die Platinen selbst herzustellen. Dies ist z.B. mit der Toner Transfermethode relativ leicht möglich. Die Druckdateien dazu stelle ich für nicht-kommerzielle Anwender zur Verfügung¹³. Wer diese Methode noch nie benutzt hat, wird jedoch einige Lehrzeit

investieren müssen um zu befriedigenden und reproduzierbaren Ergebnissen zu gelangen. Diese Zeit ist aber nicht vergebens, denn diese Fähigkeit Platinen für Muster oder sogar Kleinstserien selbst herstellen zu können ist für jeden Elektronikbastler sicher reizvoll. Die Filterplatinen sind doppelseitig auszuführen, was zwar etwas höhere Anforderungen stellt, aber durch die Wahl der Leiterbahnbreite auch die Möglichkeit bietet einen Wellenwiderstand von 50 Ω zu realisieren. Die Unterseite stellt die Massefläche für den HF-Teil dar. Außerdem sind auf ihr die Verbindungsleitungen für die Relaisansteuerung realisiert. Auf der Oberseite sind sämtliche HF-Verbindungen vorhanden. Ein Nachteil bei der Selbsterstellung der Platinen ist, dass keine Durchkontaktierungen erzeugt werden. Dies muss bei der Montage jedes einzelnen Bauteils bedacht werden. Daher müssen die Anschlüsse der Relais, die später der HF-Leitung dienen und daher auf der Oberseite verlötet werden vor der Montage mit einer kleinen Zange um 90° nach außen gebogen werden. Die beiden Anschlüsse für die Relaisspule andererseits bleiben gerade und werden auf der Platinenunterseite verlötet. Die Dioden werden ebenso wie die Stecker ausschließlich durchgesteckt und auf der Unterseite verlötet. Induktivitäten und Kapazitäten können zwar auf der Unterseite verlötet werden, um sie zu stabilisieren. Wesentlicher ist hier aber, dass sie elektrischen Kontakt zur Platinenoberseite haben und daher mit dieser (nochmals) verlötet werden. Dies erfordert insbesondere im Zusammenhang mit der Abisolierung des Kupferlackdrahts der Induktivitäten eine präzise Arbeit und konsequentes Austesten des Durchgangs nach der Montage. Vier Durchführungen müssen noch eigens erstellt werden. Sie dienen der Verbindung der Massepads von HF-IN und HF-OUT, welche sich auf der Platinenoberfläche befinden mit der Massefläche auf der Platinenunterseite. Dazu werden die vier Durchkontaktierungen gebohrt, kurze Drahtstücke durchgesteckt, sowohl auf der Ober- wie auch auf der Unterseite verlötet und überstehende Drahtteile abgeschnitten.

Die dritte Methode um eine Filterplatine zu erhalten ist, sie bei einem professionellen Platinenhersteller zu bestellen. Auch dafür stelle ich die Dateien, hier in Form von Gerber-Files zur Verfügung¹⁴. Sie ist die bequemste und sicherste Art um zu den Platinen zu gelangen, meist aber mit etwas höheren Kosten verbunden. So lag der günstigste Preis im deutschsprachigen Raum bei rund 10 € pro Platine, bei einer Mindestabnahmemenge von 3 Stück¹⁵. Deutlich günstiger kann es werden, wenn man sich auf ein Chinaangebot einlässt. Hier konnte ich zehn Platinen für unter 20 € inkl. Versand erwerben. Die Bestückung dieser professionell gefertigten Platinen gestaltet sich sehr einfach. Alle Bauteile

werden klassisch durchgesteckt und auf der Platinenunterseite verlötet.

Die erforderlichen Bauteile für die Version mit Filtern für 20 m und 30 m/40 m sind in der Bauteilliste im Anhang angeführt. Die Induktivitäten werden mit 0,8 mm Kupferlackdraht auf Amadon Pulverisenringkernen T68-6 gewickelt. Dies geht sehr einfach, speziell mit einem kleinen Kegel als Hilfsinstrument¹⁶. Hat man die Möglichkeit, die Induktivität nach dem Bewickeln zu messen, so sollte diese überprüft werden. Wenn nicht, werden die folgenden Wicklungszahlen N benutzt, mit denen die Werte gut erreicht werden:

$\underline{L}$	$\underline{N}$	$\underline{l}$
770 nH	12	27 cm
906 nH	13	29 cm
1086 nH	14	31 cm
1274 nH	15	33 cm

Als eine Wicklung gilt immer, wenn der Draht einmal durch das Ringinnere geführt wird. In der o.a. Zusammenstellung sind auch die Drahtlängen l angegeben, die für die jeweilige Induktivität samt Anschlusslängen ausreichend sind.

Eine fertig aufgebaute Filterplatine ist in Bild 8 (hier noch mit SMA Buchsen für die Vermessung) gezeigt. Das 5 mm Loch links neben der Induktivität L2 befindet sich genau über dem Trimmer zur Biaseinstellung auf der Verstärkerplatine, sodass dieser auch noch bei aufgesetzter Filterplatine bedient werden kann.

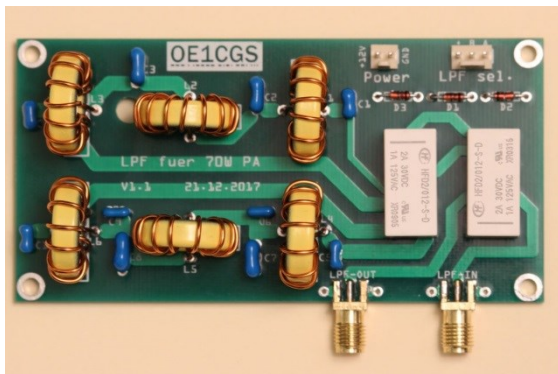


Bild 8: Fertig aufgebaute Filterplatine

Für die Herstellung der Induktivitäten und das Bestücken der Platine sollten insgesamt rund 2 bis 3 Arbeitsstunden eingeplant werden.

Die Bilder 9 und 10 zeigen Ausschnitte aus den gemessenen Filterverläufen für die 20 m bzw. 30/40 m Filter. Die Unterdrückung der zweiten harmonischen Frequenz von 14,2 MHz durch den 20m LPF beträgt mehr als 35 dB. Die gemessene Impedanz des korrekt abgeschlossenen 20 m Filters beträgt bei 14,2 MHz $46 \Omega + j \cdot 4 \Omega$.

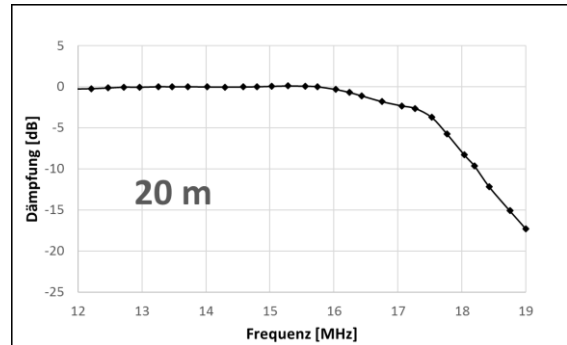


Bild 9: Gemessener Filterverlauf des 20 m Filters

Der 30/40 m Filter muss die Oberwellen von zwei verschiedenen Bändern unterdrücken und stellt damit einen Kompromiss dar. Ich habe ihn mit RFSim99¹⁷ so optimiert, dass die Filterwirkung bereits knapp über 10,1 MHz einsetzt und vor allem, dass die Impedanz sowohl bei 7,1 als auch bei 10,1 MHz möglichst nahe an 50Ω real liegt. Die Dateien mit den Filterbeschreibungen für RFSim99 stehen auf meiner Website zur Verfügung. Das Programm unterstützt auch das Design komplett neuer Filter für andere Bänder.

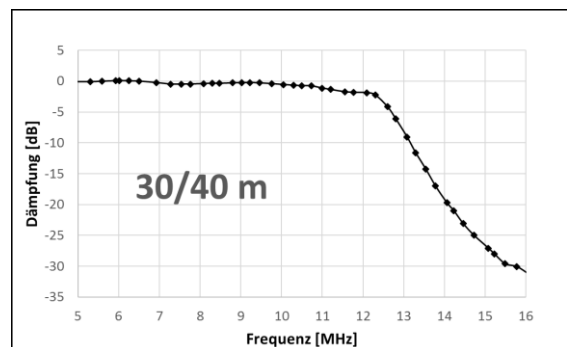


Bild 10: Gemessener Filterverlauf des 30/40 m Filters

Der 30/40 m Filter vermag die zweite harmonische Frequenz von 7,1 MHz mit 21,0 dB und von 10,1 MHz mit mehr als 35 dB zu unterdrücken, die jeweiligen dritten Harmonischen werden um mehr als 35 dB gedämpft. Dabei beträgt die Impedanz des mit 50Ω abgeschlossenen Filters bei 7,1 MHz $46 \Omega - j \cdot 6 \Omega$ und bei 10,1 MHz $48 \Omega + j \cdot 6 \Omega$.

Da die Filterplatine idente Maße und Bohrlöcher wie die Verstärkerplatine aufweist, kann sie mit den gleichen Schrauben wie diese auf dem Kühlkörper befestigt werden. Die 22 mm langen Abstandshalter zur Verstärkerplatine sind in den 3D-Objekten für das Gehäuse enthalten.

4.) Gehäuse

Sind sowohl die Verstärker- als auch die Filterplatine bestückt, auf den Kühlkörper geschraubt und verbunden, so ist der Linearverstärker aus elektronischer Sicht bereits fertig.

Für ein tatsächlich einsatzfähiges Gerät müssen diese Komponenten aber noch durch ein Gehäuse geschützt werden. Natürlich wäre hier sowohl aus mechanischer wie auch HF-technischer Sicht ein Metallgehäuse ideal¹⁸. Neben den dafür anfallenden Kosten steht aber vor allem die notwendige Bearbeitungszeit für ein solches dem eingangs genannten Ziel eines rasch aufzubauenden Geräts entgegen. Ich habe daher ein 3D-druckbares Gehäuse entworfen, welches neben der einfachen Montage der Hauptkomponenten auch die einfache Anbringung sämtlicher Anschlüsse erlaubt.

Das Konzept des Gehäuses gewährleistet eine einfache Montage und einen guten Servicezugang: Beinahe alle Anschlüsse sind auf der Rückplatte neben dem Kühlkörper angebracht. Da andererseits auch die Platinen am Kühlkörper befestigt sind, kann somit fast die gesamte Verkabelung bequem vorgenommen werden, bevor der restliche Gehäuseteil einfach mit 4 metrischen Schrauben daran fixiert wird. In der Grundversion befindet sich an diesem nur der Wahlschalter für die Tiefpassfilter.

So befinden sich auf der Geräterückseite neben dem HF-Eingang (BNC-Buchse), dem HF-Ausgang (PL-Buchse), der PTT-Buchse (3,5 mm Stereo-Klinkenstecker) auch die Stromversorgung, deren Absicherung und der Einschalter.

Insgesamt gibt es vier verschiedene Druckteile (Bild 11), wobei vom Schutzbügel zwei und von den Distanzhülsen vier Exemplare gedruckt werden. Die Objektdateien stehen für private Zwecke zum Download zur Verfügung¹⁹.



Bild 11: 3D-Druckteile des Gehäuses

Als Gehäusematerial kommen vor allem PLA oder das witterungsbeständigere, aber auch etwas schwerer zu verarbeitende ABS in Frage. Die Objektgeometrie macht den Einsatz einer geheizten Bodenplatte wünschenswert. Nur die Geräterückseite muss mit einer Stützstruktur gedruckt werden, bei den anderen Teilen kann darauf verzichtet werden. Eine Druckauflösung von 0,2 mm ist ausreichend, für die Gehäusevorderseite und die Distanzhülsen genügt auch 0,3 mm.

Mit einem eigenen 3D-Drucker oder einem guten Zugang zu einem ist der Druck eine sehr günstige Angelegenheit. Muss jedoch eine Firma beauftragt werden, so können hier deutliche Kosten entstehen. In diesem Fall würde ich empfehlen, nur die Gehäuserückwand drucken zu lassen (evtl. noch Abstandhalter und Schutzbügel). Die Rückwand sollte auf einem durchschnittlichen Drucker in maximal einer halben Stunde gedruckt sein. Als grobe Orientierung und natürlich abhängig vom jeweiligen Preismodell des Dienstleisters sollte dies um rund 10 bis 15 € zu bekommen sein.

Zur späteren Verbindung der Gehäuseteile dienen M3 Schrauben mit einer Länge ab 10 mm. Für die entsprechenden Muttern sind im großen Gehäuse Teil Halterungen angebracht. Es ist vorteilhaft, die Muttern vor der Montage darin z.B. mit etwas Epoxyd Kleber zu fixieren.

5.) Montage

An dieser Stelle sollten alle benötigten Komponenten vorliegen. Die Hauptbestandteile sind:

- Aufgebaute und getestete Verstärkerplatine auf Kühlkörper
- Aufgebaute und getestete LPF-Platine
- 3D-Druckteile (8 Einzelteile)

Zusätzlich wird folgendes Material benötigt:

- HF-Anschlüsse (BNC- und PL-Buchse)
- 3,5 mm Stereo-Buchse
- Ein/Ausschalter (Wippe)
- Sicherungshalter samt 10 A Sicherung
- Zugentlastung für Stromversorgung
- Wipp-, Kipp- oder Schiebeschalter für LPF EIN/AUS/EIN
- 3 Platinen-Steckverbinder mit Kabel
- 4 Schrauben M3 x 10 mm oder länger
- 4 Schrauben M3 x 35 mm
- 4 Muttern M3
- Kabel für Stromversorgung
- Koaxialkabel (z.B. RG 316)

Sämtliches benötigte Material ist im Anhang F zusammen mit Bezugsquellen nochmals angeführt.

Die einzelnen Schritte des Zusammenbaus sind im Folgenden dokumentiert:

Anschlüsse der Gehäuserückwand

Im ersten Arbeitsschritt werden die Bauteile der Gehäuserückwand an derselben montiert. Sofern man sich bei der Beschaffung an die Materialliste von Anhang F gehalten hat, passen diese Teile direkt in die vorgesehenen Ausnehmungen. Für die HF-Buchsen kann eine Flanschlösung, wie in der Modifikation E beschrieben in Betracht gezogen werden.

Rückwand, Verstärkerplatine und Kühlkörper

Nun wird die vormontierte Rückwand mit der Verstärkerplatine aus Kapitel 2 und dem Kühlkörper verschraubt. Diese Verschraubung mit kurzen M3 Schrauben (hier können die Schrauben benutzt werden, die später für das Zusammensetzen des Gehäuses benötigt werden) ist nur temporär und dient der Verkabelung. Dazu wird der Kühlkörper mit den Rippen nach unten auf den Arbeitstisch gelegt. Darüber befindet sich die Platine, die kurzfristig nur über die Schalttransistoren mit dem Kühlkörper verbunden ist. Darauf wird nun die Gehäuserückwand gelegt und zwar so, dass die vier Montagelöcher in der inneren Ausnehmung für den Kühlkörper über dem Rest der Rückwand liegen und sich die Seite mit den HF-Anschlüssen neben den HF-Löt pads („IN“ und „OUT“) befindet. Wenn diese Teile nun mit den M3 Schrauben fixiert werden, sollte die Platine von hinten nicht mehr sichtbar sein und der Kühlkörper sich scheinbar nahtlos an die Rückwand anfügen. Die Anordnung sollte nun wie in Bild 12 sein.

In diesem Zustand wird nun die Verkabelung vorgenommen.

Ein zweipoliger Stecker samt Kabel verbindet die PTT-Buchse mit der Buchse des 3,5 mm Klinkensteckers. Dabei ist darauf zu achten, dass derjenige Kontakt der sich näher zum Platinenrand mit IN und OUT befindet, auf Masse liegt und dementsprechend später am Transceiver auch mit dem GND-Kontakt verbunden werden muss. Sinnvollerweise geht dieser Kontakt an den Gehäuseanschluss der Buchse. Das andere Kabel trägt das PTT-Signal und muss dementsprechend verbunden werden. Ich habe dazu den Anschluss für den rechten Kanal einer Stereobuchse benutzt, was v.a. daran liegt, dass ich dadurch meinen Transceiver einfach mit einem Audiokabel an den PA anschließen kann.

Die BNC-Buchse wird mit einem kurzen Stück 50 Ω Koaxialkabel mit den Löt pads „IN“ verbunden. Der Innenleiter muss dabei mit dem mittleren Löt pad verbunden werden, während der Außenleiter auf einen der beiden äußeren geht.

In gleicher Weise wird die PL-Buchse durch ein Koaxialkabel mit dem Löt pad „OUT“ verbunden.

Die beiden Kabel der Stromversorgung werden durch die Zugentlastung geführt, welche eventuell durch Nachbearbeitung noch etwas an die jeweiligen Kabel angepasst werden muss. Mit gutem Überstand der Kabel wird die Zugentlastung mit den Kabeln dann in die Gehäuserückwand eingesteckt und die Kabel damit fixiert. Die Masse wird sodann direkt an der Verstärkerplatine „GND“ angelötet. Am besten ist es an dieser Stelle jedoch auch gleich die passend abgelängte Versorgung der Tiefpassplatine mit anzulöten. Dazu die schwarze Leitung eines zweipoligen Steckers benutzen, wenn die Montage der Stiftleiste so erfolgte wie in Kapitel 3 beschrieben. Sicherheitshalber jetzt nochmals genau darauf achten, dass die LPF-Platine polrichtig angeschlossen wird.

Die positive Leitung der Stromversorgung wird an die hintere Löt fahne der Sicherungshalterung gelötet; von deren anderer Löt fahne sodann eine Verbindung zum Ein/Ausschalter erfolgt. Wird der zweite Schalterpol nun an den Anschluss „VCC“ der Verstärkerplatine geführt, so ist der Kreis geschlossen. Auch hier sollte gleich die Versorgung der Tiefpassfilter mit angelötet werden.

Bild 12 zeigt, wie die Einheit nach diesem Arbeitsschritt aussehen sollte:

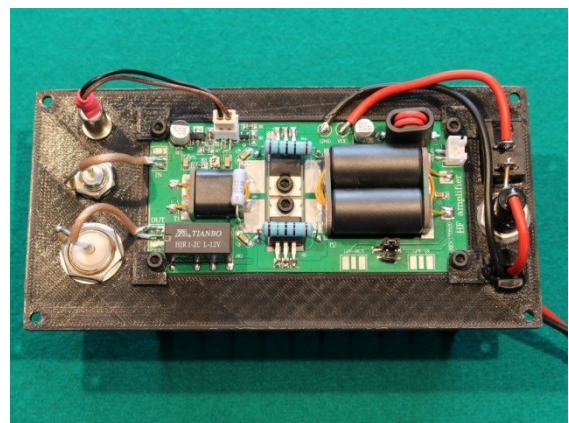


Bild 12: Fertig montierte Verstärkereinheit, noch ohne Tiefpassfilter

Tiefpassfilter

Durch den nächsten Schritt, den Anschluss der Platine mit den Tiefpassfiltern entsteht eine kompakte, aber noch gut zugängliche Einheit die sämtliche funktional bedeutsame Elemente umfasst. Damit ist es eine Leichtigkeit, diese Einheit auch in

einem anderen, als dem hier beschriebenen 3D-gedrucktem Gehäuse unterzubringen.

Dieser Montageschritt ist sehr einfach: Die vier, temporär benutzten M3 Schrauben zu Verbindung mit dem Kühlkörper werden durch die langen M3 x 35 mm Schrauben ersetzt, nicht ohne diese zuerst durch die Filterplatine gesteckt und jeweils eine Distanzhülse angebracht zu haben. Die Filterplatine muss so aufgesetzt werden, dass sich die Löt pads „HF-IN“ und „HF-OUT“ der Filterplatine direkt oberhalb der korrespondierenden Anschlüsse „LPF-IN“ und „LPF-OUT“ der Verstärkerplatine befinden.

Diese HF-Anschlüsse der beiden Platinen müssen jetzt nur noch mit zwei kurzen, senkrechten Stück Koaxialkabel verbunden werden (Bild 13).

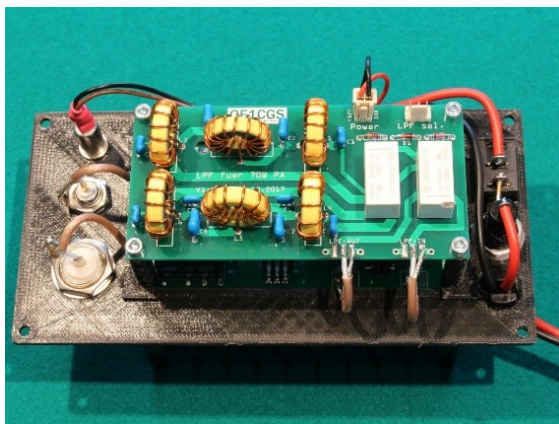


Bild 13: Kompakte Einheit von Kühlkörper bis Tiefpassfilter

Spätestens jetzt muss der Jumper „JP1“ auf der Verstärkerplatine entfernt werden, da die Filterplatine sonst überbrückt und somit wirkungslos wäre!

Nachdem noch der Stecker mit den im vorigen Schritt angelöteten Versorgungskabeln auf die Filterplatine gesteckt wird, ist das Gerät bereits weitgehend fertig.

Gehäusevorderteil montieren

Das Objekt für den vorderen Gehäuseteil weist absichtlich keine Öffnung zur Montage des Wahlschalters für die Tiefpassfilter auf, um dem Erbauer sowohl die Bauteil- als auch optische Wahlmöglichkeit der Platzierung zu lassen. In Frage kommen alle Wipp-, Kipp- oder Schiebeschalter mit den drei stabilen Stellungen EIN/AUS/EIN. Das schwarze Kabel des dreipoligen Steckers geht an den gemeinsamen Anschluss (meist in der Mitte, manchmal auch zwei mittlere Anschlüsse die verbunden werden müssen), während die anderen beiden Kabel mit den aktivierbaren Anschlüssen verbunden werden (meist die beiden äußeren). Nachdem eine passende

Öffnung in die vordere Gehäusewand gearbeitet wurde, wird der Schalter montiert und der Stecker mit der Filterplatine verbunden.

An die, im vorherigen Schritt montierte Einheit wird nun der vordere Gehäuseteil und (falls gewünscht) die beiden hinteren Schutzbügel angeschraubt.

Das Gerät (Bild 14) ist nun fertig aufgebaut:

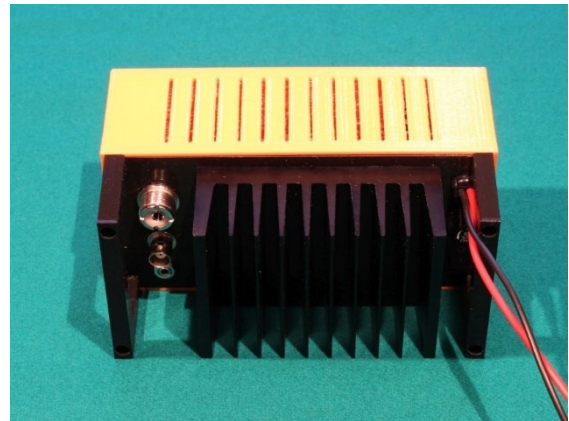


Bild 14: Fertig montierter Verstärker

Insgesamt sollte für die Montage eine Arbeitszeit von rund 2 h vorgesehen werden.

Vor Inbetriebnahme muss sichergestellt sein, dass eine Feinsicherung mit maximal 10 A Belastbarkeit in den Sicherungshalter eingelegt ist.

Die Vorderseite kann noch mit einer Beschriftung versehen werden (Bild 15). Darüber hinaus ist es möglich, mit wenig Aufwand noch zusätzliche Betriebsanzeigen zu integrieren. Einige Vorschläge dazu finden sich im Anhang E (Anzeigen und Anschlüsse).

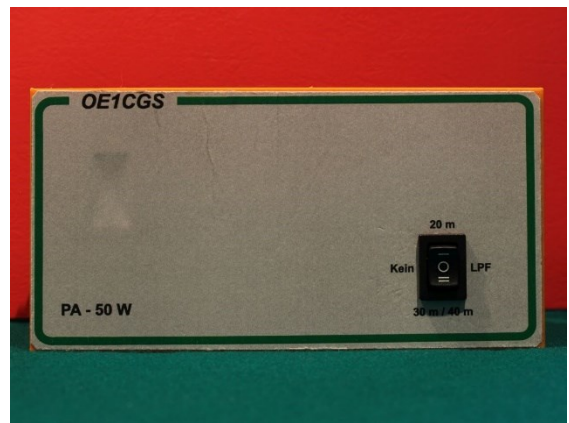


Bild 15: Eine Beschriftung auf der Vorderseite kann die Bedienung erleichtern

Bild 16 zeigt die Anschlüsse auf der Rückseite. Von hinten betrachtet auf der linken Seite befinden sich die Elemente der Stromversorgung mit Zuleitung, Sicherung und Einschalter. Auf der rechten Seite sind der Ein- und der Ausgang für die

Hochfrequenz sowie die Buchse für die PTT-Steuerung.

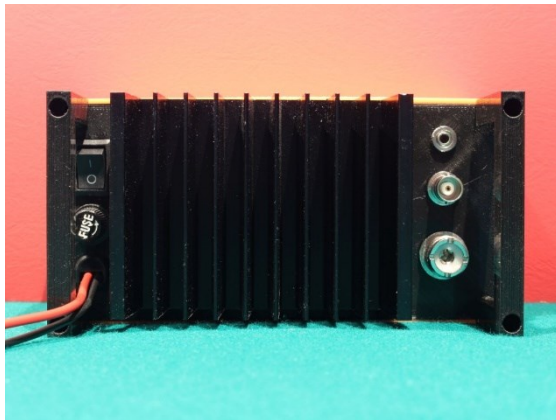


Bild 16: Geräterückseite mit Anschlüssen

6.) Betriebsparameter

Obwohl die Vermarktung als 70 W Verstärker wohl etwas zu hoch gegriffen ist, kann das fertige Gerät doch mit sehr brauchbaren Parametern aufwarten. Die wesentlichen davon wurden am fertig aufgebauten Gerät vermessen und dokumentiert²⁰.

Thermisches Verhalten

Eine Leistungsgrenze für dieses Gerät ergibt sich aus der thermischen Belastung. Obwohl der Wirkungsgrad mit der Leistung steigt, ist die, auch frequenzabhängige, Verlustleistung enorm. Sie wird größtenteils in Wärme umgesetzt und führt vor allem an den Rückkopplungswiderständen R4 und R5 zu einer massiven Erwärmung. Bild 17 zeigt eine Wärmebildaufnahme nach einem durchgehenden, zweiminütigen Betrieb mit rund 20 Watt Ausgangsleistung.

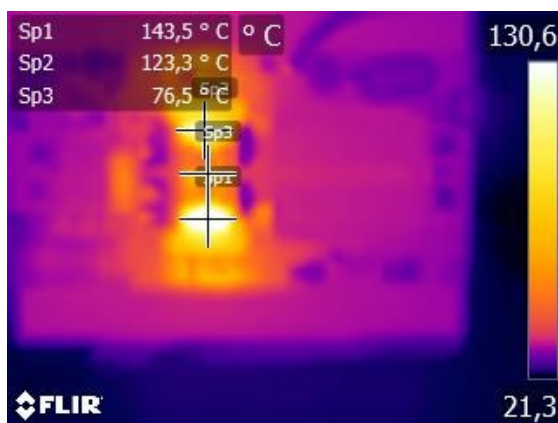


Bild 17: Wärmebild der Verstärkerplatine

Die Widerstände erreichten dabei Temperaturen von bis zu 144 °C. Hier wäre eine Verbesserung, z.B. durch Kühlflächen zu überlegen.

Bei einem längeren Dauerstrichbetrieb begrenzt natürlich auch die passive Kühlung die Leistungsfähigkeit des Verstärkers. Diese könnte durch den Einsatz eines Ventilators deutlich erhöht werden, eine Buchse zum Anschluss ist auf der Verstärkerplatine ja bereits vorhanden.

Ohne weitere Modifikationen würde ich dem Gerät nur ungern mehr als 50 W Ausgangsleistung zumuten. Ich selbst begnüge mich mit rund 30 W und habe daher auch die im Folgenden beschriebenen Messungen bis zu diesem Leistungsbereich durchgeführt.

Verstärkung und Wirkungsgrad

Die Verstärkung weist eine deutliche Frequenzabhängigkeit auf. Definiert als Verstärkungsfaktor β (HF-Ausgangsleistung zu HF-Eingangsleistung, in dB) erreicht sie bei 7,1 MHz noch einen Spitzenwert von über 14 dB (bei 1 W Eingangsleistung), bei 14,2 MHz aber nur mehr knapp 12 dB (bei rund 2 W). Damit können mit 2 bis 2,5 W Eingangsleistung, welche ich als den optimalen Wert empfinde auf 40 m rund 40 W und auf 20 m immerhin noch rund 30 W Ausgangsleistung erzielt werden.

Der Wirkungsgrad ϵ , definiert als HF-Ausgangsleistung dividiert durch zugeführte elektrische Leistung, steigt im Bereich von 0,5 W bis 2 W Eingangsleistung an. Während er bei geringer Leistung nur rund 15% beträgt, erreicht er bei höherer Leistung einen Wert von 45%. Aber selbst das bedeutet natürlich, dass über die Hälfte der zugeführten Leistung in Wärme umgewandelt wird und größtenteils über den Kühlkörper abgeführt werden muss.

Band	β [dB]	ϵ [%]	P [W]	I [A]
40m	12	45%	30	5,2
30m	12,5	43%	36	6,8
20m	13	45%	40	7,1

Tabelle 1: Typische Leistungsdaten bei 12,8 V Versorgungsspannung und 2 W Eingangsleistung

In der Tabelle 1 sind typische Werte (gemessen bzw. interpoliert) für die wesentlichen Leistungsdaten angeführt. Sie gelten für einen Betrieb mit Tiefpassfilter an 12,8 V und einer HF-Eingangsleistung von 2 Watt.

Impedanzen

Mit der Modifikation „R6“ ist das Stehwellenverhältnis der Eingangsimpedanz, bezogen auf 50 Ω , auf den Bändern von 40 m bis 20 m besser als 1,5 (siehe Anhang A).

Leider war es mir nicht möglich, die Ausgangsimpedanz verlässlich zu messen. So musste ich mich mit groben Messungen²¹ bei kleinerer Leistung begnügen. Während die damit gewonnen Daten für das 40 m und das 20 m Band eine Ausgangsimpedanz von rund 50 Ω nahelegen, deuten die Daten für das 20 m Band auf eine deutlich höhere (rd. 100 Ω) Impedanz hin.

Oberwellen

Der Verstärkerbausatz ohne zusätzliche Maßnahmen würde eine Unmenge an Oberwellen erzeugen. So liegt die Leistung der dritten Harmonischen von 14,2 MHz nur 7,6 dB unter derjenigen der Grundwelle (Bild 18). Besser sieht es zwar für das 40 m und das 30 m Band aus, aber an einen regelkonformen Betrieb wäre auch hier nicht zu denken.

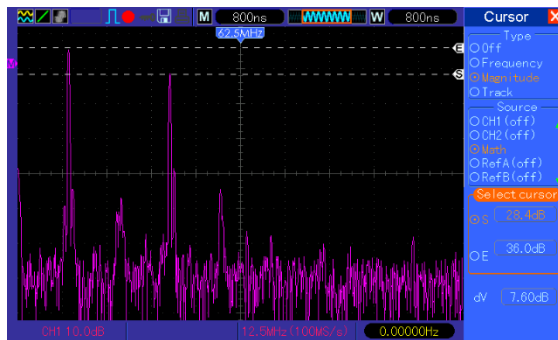


Bild 18: Ohne Tiefpassfilter erzeugt der Verstärker ausgeprägte Oberwellen zur Grundfrequenz von 14,2 MHz

Durch den Einsatz der 7-Element Tschebyscheff-Filter werden Oberwellen jedoch wirkungsvoll unterdrückt. Bild 19 zeigt exemplarisch das Spektrum bei einem Betrieb mit 7,1 MHz.

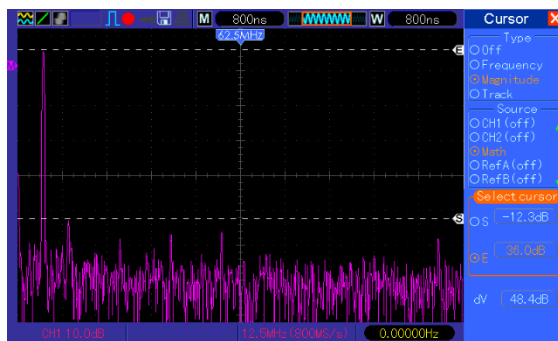


Bild 19: Spektrum für 40 m mit eingeschaltetem Tiefpass

Die stärkste Harmonische ist gegenüber der Grundfrequenz bereits um 48,4 dB gedämpft.

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Unterdrückung von Oberwellen auf den drei benutzten Bändern und bei Ausgangsleistungen zwischen 30 und 40 W.

Band	f ₂ [dB]	f ₃ [dB]	f ₄ [dB]	f ₅ [dB]
40m	- 48	- 58	< - 60	< - 60
30m	- 50	- 47	- 53	< - 60
20m	- 51	- 40	- 58	- 56

Tabelle 2: Unterdrückung von Oberwellen in dB gegenüber der Grundfrequenz

Mit Ausnahme der dritten Oberwelle auf dem 20m Band werden sämtliche Störaussendungen mit mindestens 47 dB gegenüber der Grundwelle gedämpft. Durch zusätzliche Reduktion in Anpassungsgeräten oder durch die Antennencharakteristik selbst sollte aber auch im 20m Band ein regelkonformer Betrieb erzielbar sein.

Bedienung

Vor dem Betrieb müssen die Verbindungen zu Transceiver und Antenne hergestellt und das Gerät an die Versorgung (12 – 14 V Gleichstrom, max. 8 A) angeschlossen werden.

Die mittlere (BNC-) Buchse auf der (von hinten betrachtet) rechten Geräterückseite wird mit einem 50 Ω Koaxialkabel zum Antennenanschluss des Transceivers verbunden.

Ebenfalls mit dem Transceiver verbunden wird die PTT-Steuerung (obere Buchse, 3,5 mm Klinke). Ein zweiadriges Kabel verbindet dabei den mittleren Abschnitt des Stereo-Steckers („rechter Kanal“) mit dem PTT-Ausgang (hängt vom Transceiver ab, zumeist in der „ACC“-Buchse²²) und der hintere Abschnitt („Masse“) wird mit GND des Transceivers verbunden.

Die untere (PL-) Buchse des Verstärkers wird mit einem 50 Ω Koaxialkabel an der Antenne angeschlossen.

Die Bedienung des Verstärkers gestaltet sich sehr einfach. Sie beschränkt sich nach der Verkabelung auf das Ein/Ausschalten und die Wahl des Tiefpassfilters. Solange das Gerät ausgeschaltet ist, wird das HF-Signal zwischen dem HF-Eingang und dem HF-Ausgang durchgeschleift. Dadurch kann es angeschlossen bleiben, auch wenn kein Verstärkerbetrieb gewünscht ist. Nur wenn das Gerät eingeschaltet und die PTT-Steuerung aktiviert ist, wird der Verstärker samt Tiefpassfilter zwischen Ein- und Ausgang wirksam. Dies bedeutet auch, dass der Tiefpassfilter im Empfangsfall nicht durchlaufen wird.

Zur Schonung der Relais sollte das Gerät weder ein- noch ausgeschaltet werden, noch die Wahl der Tiefpassfilter geändert werden, solange am Eingang ein Signal anliegt.

7.) Resümee und Ausblick

Insgesamt kann das Gerät die geplanten Ziele in beinahe allen Belangen erreichen. Sowohl der elektrische als auch der mechanische Aufbau kann ohne größere Hindernisse in einer überschaubaren Zeit und mit üblichen Hobbymitteln durchgeführt werden. Die Materialkosten sind mit rund 50 € attraktiv und das fertige System hat sowohl messtechnisch als auch im praktischen Einsatz seine Brauchbarkeit bewiesen.

Wie in Abschnitt 6 beschrieben, konnte ich die Ausgangsimpedanz nicht verlässlich bestimmen und so bestehen zumindest hinsichtlich des 20 m Bands Zweifel. Hier bin ich sehr an den Erfahrungen und vor allem Messergebnissen anderer OMs interessiert um das System ggf. noch optimieren zu können.

Der Verstärkerbausatz wird mit einem Frequenzbereich von 3,5 bis 30 MHz beworben. Auch die gemessene Eingangsimpedanz (mit R6-Modifikation, vgl. Tabelle 4) ist mit diesem Bereich vereinbar. Durch eine geänderte Bestückung der Filterplatine sollten sich daher auch die angrenzenden Bänder bedienen lassen, auch wenn bei höheren Frequenzen mit einer Leistungsreduktion gerechnet werden muss.

ANHANG A: Modifikation „R6“

Diese Modifikation sollte in jedem Fall durchgeführt werden!

In einer ersten Testserie der Eingangsimpedanz des fertig aufgebauten Verstärkers, abgeschlossen mit einem 50 Ω Dummy-Load erhielt ich folgende, erhellende Ergebnisse, gemessen mit einem FA-VA 4:

Band	f [MHz]	Z [Ω]	SWV
160m	1,8	6,3 + 35·j	11,8
80m	3,6	22,3 + 79·j	8,2
40m	7,1	264 + 41·j	5,4
30m	10,1	107 – 108·j	4,6
20m	14,2	37,8 – 67·j	4,2
17m	18,1	21,5 – 41·j	4,1
15m	21,1	16,2 – 26·j	4,0

Tabelle 3: Messung des nicht modifizierten Bausatzes durch FA-VA 4

Unter Nennlast werden diese Werte zwar etwas modifiziert, bleiben aber dennoch deutlich von SWV = 1 entfernt. Rechnerisch war klar, dass sich das SWV durch einfaches Parallelschalten eines ohmschen Widerstandes signifikant verbessern lassen sollte. Dieser Widerstand läge frequenzabhängig im Bereich zwischen 30 und 60 Ω . Auf der Suche nach einem geeigneten Montageort auf der Platine stieß ich auf die Markierung „R6“ samt Lötstellen auf der Sekundärseite des Transformators T1 (Bild 20).



Bild 20: Die Lötstellen und die Bauteilbeschriftung für R6 sind bereits vorhanden, alleine der entsprechende Widerstand fehlt im Bausatz.

Auch durch einen Widerstand an dieser Stelle sollte sich der gewünschte Effekt erzielen lassen, allerdings unter Berücksichtigung der Transformation durch T1. Weitere Messungen mit verschiedenen Widerständen für R6 haben dann diese Vermutung bestätigt:

Band\R6=	10 Ω	12 Ω	15 Ω	18 Ω	22 Ω
160m	3,5	3,6	3,8	4,0	4,4
80m	2,1	2,0	2,0	2,1	2,3
40m	1,6	1,4	1,3	1,3	1,4
30m	1,5	1,3	1,1	1,1	1,3
20m	1,4	1,2	1,1	1,2	1,4
17m	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6
15m	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9

Tabelle 4: Gemessenes Stehwellenverhältnis für diverse Werte von R6

In Tabelle 4 ist sofort zu erkennen, dass sich die Eingangsimpedanz durch Hinzufügen von R6 dramatisch verbessert. Bis auf die Bänder 160m und 80m ist nun immer ein SWV unter 2 erzielbar.

Da für meine Anwendung das Verhalten in den Bändern 40 m, 30 m und 20 m wesentlich ist und der optimale Widerstand von R6 bei höherer Leistung noch etwas zunimmt (siehe Messdaten), habe ich mich für einen Wert von 22 Ω entschieden.

Eingangsseitig sollen immerhin bis zu 5 Watt anliegen können, das entspricht einem Effektivwert von knapp 16 V vor, somit rund 4 Volt nach T1. Für 22 Ω ergibt sich damit eine Belastung von rund einem 3/4 Watt. Ein Metallschichtwiderstand mit

mindestens 1 W Belastbarkeit stellt also sicher eine gute Wahl dar.

$$R6 = 22 \text{ Ohm} / \geq 1 \text{ W}$$

Bild 21 zeigt den, um R6 (dunkelgrüne Verbindungen) erweiterten Schaltplan des Verstärkers mit der „R6“-Modifikation.

Natürlich sinkt durch diese Modifikation die Eingangsempfindlichkeit. Aber neben der optimalen Anpassung für den Sender wird man vor allem auch dadurch belohnt, dass das Eingangs- und damit auch Ausgangssignal deutlich weniger Oberwellen als ohne R6 aufweist.

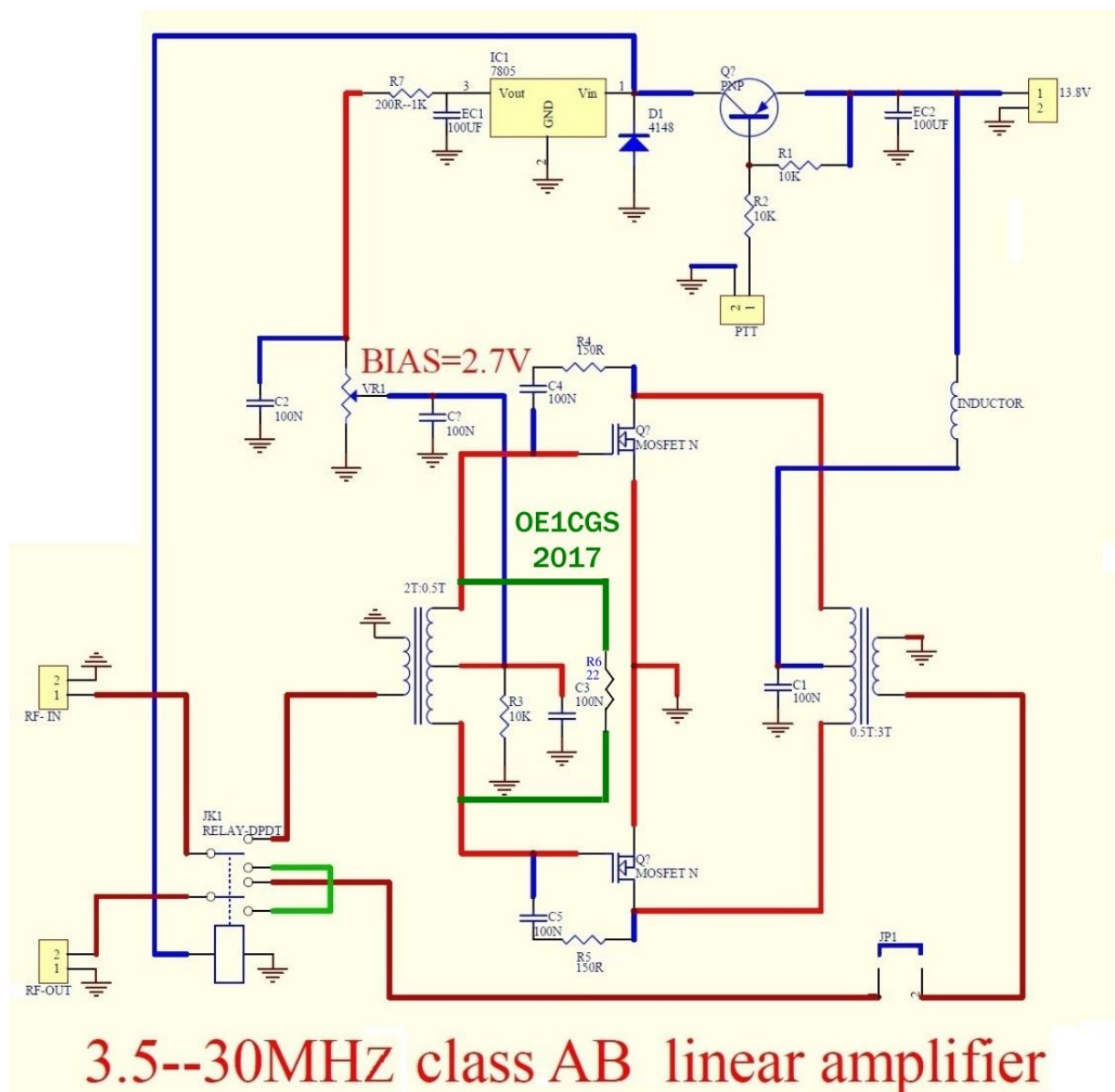


Bild 21: Schaltplan mit eingezeichneter R6-Modifikation

Inzwischen habe ich auch festgestellt, dass in einem kommerziellen Produkt²³, welches auf dieser bzw. einer nahezu identen Platine basiert, der Widerstand R6 bestückt ist. Wenn ich mich nicht täusche, ist dort ein 7,5 Ω Widerstand verbaut. Auch im ähnlich aufgebauten MX-P50 ist ein Widerstand an dieser Stelle vorhanden, hier scheinen es 24 Ω zu sein. In diesen Geräten ist allerdings ein MRF186 anstelle der beiden IRF530N verbaut. Auch wenn diese beiden, fertig aufgebaut verkauften Verstärker immer noch als günstig zu bezeichnen sind, liegt ihr Preis doch bei einem Mehrfachen des hier beschriebenen Produkts.

So erhebt sich die Frage, ob das Fehlen von R6 im Bausatz einfach eine Schlamperei ist, oder vielleicht doch eine Absicht dahintersteht.

ANHANG B: Austausch IRF530N

Diese Modifikation ist zwar nicht unbedingt erforderlich, da der Verstärker auch mit den mitgelieferten Transistoren funktioniert. Aber es ist nicht unwahrscheinlich, dass bei den ersten Gehversuchen der eine oder andere Transistor überhitzt und sowieso neue Bauteile beschafft werden müssen. Da mag es Sinn machen, von Anfang an bekannte Qualität zu verbauen.

Die Modifikation selbst ist sehr einfach: Die beiden mitgelieferten „IRF530N“ wandern in die Bastelkiste (oder in den Mistkübel) und an ihrer Stelle werden zwei Qualitätsprodukte eingesetzt. Diese sind sogar bei lokalen Händlern für rund 1 € das Paar zu bekommen.

ANHANG C: Modifikation „Power-Transistoren“

Es ist klar, dass die Universal-Schalttransistoren IRF530N für diese Applikation nach technischen Gesichtspunkten nicht die allerbeste Wahl darstellen. Sie sind ganz einfach spottbillig und wenn mal einer durchbrennt, können 10 davon für eine Handvoll Euro gekauft werden. Nachdem ich aber mit diesen mitgelieferten Teilen keine schlechten Erfahrungen gemacht habe, nicht daran interessiert bin aus dem Verstärker das letzte Watt herauszupressen und getreu meinem minimalistischen Ansatz, bin ich bei den IRF530N geblieben und habe selbst die im folgenden beschriebenen Modifikationen nicht durchgeführt.

Robert, M0RZF vergleicht auf seiner empfehlenswerten Website²⁴ verschiedene FETs, vorzugsweise im TO220 Gehäuse hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für HF-Verstärker. Er empfiehlt als kostengünstige Alternative FQP13N10 Transistoren.

Auf Bildern von dem, im AHANG A referenzierten kommerziellen Gerät ist ersichtlich, dass an Stelle der beiden IRF530N im TO220 Gehäuse ein einzelner Bauteil verlötet ist. Auch beim Fertiggerät MX-P50, dessen Verstärkerplatine ebenfalls frappant ähnlich dem hier beschriebenen Bausatz wirkt, ist ein derartiger Bauteil verbaut. Es fällt auch sofort ins Auge, dass die Platine unseres Bausatzes ebenfalls für den ersatzweisen Einbau derartiger Bauteile vorbereitet ist. Worum kann es sich also handeln?

Beim MX-P50 ist es ein MRF186, ein „RF Power FET“, ausgelegt für bis zu 120 W. Er ist konzipiert für einen Betrieb an 28 V, wird aber beim MX-P50 auch mit 12V betrieben. Weitere Kandidaten wären: MRF185, MRF9180, MRF861. Mit diesen Spezialtransistoren lässt sich sicherlich noch etwas mehr herausholen, aber selbst bei billigsten Quellen muss man dafür mindestens 10 € und damit fast so viel wie für den ganzen Bausatz rechnen.

Es sollte auch bedacht werden, dass sich die Werte der Rückkopplungswiderstände R4 und R5 sowie der Anpassung durch R6 ändern. Ein Blick auf die angeführten, fertigen Produkte legt für R4 und R5 Werte zwischen 75 und 100 Ω nahe. Für R6 sind sowohl geringere (7,5 Ω) als auch höhere (24 Ω) Werte vorzufinden. Hier muss also selbst experimentiert werden.

ANHANG D: LPFs für weitere Bänder

In der Basisvariante ist der hier beschriebene Linearverstärker für den Einsatz auf den KW-Bändern 40 m, 30 m und 20 m konzipiert. Dies kann mit einer Tiefpassfilterplatine erreicht werden. Auch das 3D gedruckte Gehäuse ist für den Einsatz nur einer Filterplatine entworfen.

Da der Verstärker selbst einen größeren Frequenzbereich abdeckt, können durch Bestückung der Tiefpassfilterplatine mit anderen Kapazitäten und Induktivitäten wahlweise auch andere Bänder/Bandkombinationen erschlossen werden. Die dafür erforderlichen Werte können z.B. mit Onlinerechnern für „7 Element Tschebycheff“ selbst ermittelt werden. Berechnete Werte für die Bänder von 80 m bis 10 m wurden z.B. von John, PD7MAA publiziert⁹.

Das Design der Filterplatine ist so gestaltet, dass aber auch ein gleichzeitiger Einsatz mehrerer derartiger Platinen möglich ist. Diese können dazu über einander gestapelt werden. Dann werden die HF-Schnittstellen so miteinander verbunden, dass nicht nur aus 2 sondern aus 4, 6,... Tiefpassfiltern gewählt werden kann.

Für einen engagierten Amateur ist es sicherlich auch möglich, eine automatische Bandselektion

durch eine Erweiterung rund um einen μC zu realisieren. Auch dafür würde sich eine mechanische Lösung durch Erweiterung des Platinestapels anbieten.

Derartige Modifikationen hätten natürlich nicht mehr im ursprünglichen Gehäuse Platz, eine Erweiterung des Gehäusedesigns wäre aber mit minimalem Aufwand durchführbar.

ANHANG E: Anzeigen und Anschlüsse

Dem Ziel des günstigen und einfachen Aufbaus geschuldet sind auch ein Minimum an Bedien- bzw. Anzeigeelementen sowie einfach zu montierende Anschlüsse.

Hier kann aber mit relativ geringem Aufwand – auch nachträglich – der Komfort und die Betriebssicherheit deutlich erhöht werden.

Sehr einfach ist die Ausrüstung mit einer Betriebsanzeige in Form einer LED auf der Frontplatte. Die LED muss dazu nur mit einem Vorwiderstand von ca. $820\ \Omega$ versehen zwischen Versorgungsspannung (nach Ein/Ausschalter) und Masse angeschlossen werden.

Wünschenswert ist auch eine Sendeanzeige. Wiederum genügt eine (rote) LED mit Vorwiderstand. Etwas komplizierter ist es hier jedoch, den passenden Anschlusspunkt zu finden. Ich empfehle Pin 1 des Relais auf der Verstärkerplatine zu benutzen und mit einem Vorwiderstand von ca. $760\ \Omega$ die LED anzuschließen. Die Kathode geht an Masse.

Aus meiner Sicht nicht notwendig sind Leuchtdioden zur Anzeige der eingestellten Bänder des Tiefpassfilters, da diese Information bei einer passenden Beschriftung auch direkt am Wahlschalter abgelesen werden kann. Wenn dies dennoch erwünscht ist, können hier die Signale am Schalter zusammen mit Vorwiderständen benutzt werden.

Sehr wohl in Betracht ziehen sollte man jedoch, an Stelle der BNC- und PL-Buchsen für die Zentralbefestigung derartige Buchsen für eine Flanschmontage zu montieren. Am besten bereits von Anfang an, denn die Zusatzkosten sind minimal und die zwei mal vier Löcher für die Befestigungsschrauben sind auch schnell gebohrt. Dafür muss man sich nie mehr mit losgelösten Buchsen herumärgern. Das Gehäusedesign berücksichtigt bereits diese Modifikation und bietet ausreichend Platz für die Flanschmontage.

ANHANG F: Materialliste

Die folgende Materialliste soll als Hilfe bei der Suche nach den passenden Komponenten dienen. Die beiden angeführten Lieferanten sind aufgrund ihrer Bedeutung für den deutschsprachigen Raum mit Artikelnummern exemplarisch angeführt, wobei sich ein Blick auf alternative Bezugsquellen natürlich auszahlen kann.

Bezeichnung	Art.Nr. Conrad	Art. Nr. Reichelt
DIY Kits 70W	-	-
Kühlkörper		V 7331G
Widerstand $22\ \Omega/2\text{W}$	1474539	2W METALL 22
RG-316 Koaxialkabel	1179842	-
Wippschalter EIN/AUS	1587515	WIPPE 1801.1146
Wippschalter EIN/AUS/EIN	1587513	WIPPE 1808.1103
Sicherungshalter	1587496	PL 126001
Feinsicherung	1576515	TR 10A
Zugentlastung		KAZU 42
3,5 mm Stereo-Klinken- buchse		LUM KLB 4
BNC-Einbaubuchse	1564888	UG 1094U
PL-Einbaubuchse	1579410	SO 239 SH
Platine für LPF	www.aisler.net www.itead.cc	
Amidon-Ringkern T68-6 (6x)		T 68-6
Kupferlackdraht 0,8 mm	605604	KUPFER 0,8mm
Relais 12V, 2 Wechsler (2x)	629500	HFD2 12V
Diode, 1N4148 (3x)	564851	1N 4148
Steckverbinder 2 pol.		PS 25/20 W
Steckverbinder 2 pol.		PS 25/2U W
Steckverbinder 3 pol.		PS 25/30 W
Steckverbinder 3 pol.		PS 25/3U W
Glimmer-Kondensator diverse Werte		CY 22-2 xx CY 22-3 xx

Tabelle 5: Verwendete Bauteile und Bezugsquellen

Die Materialliste steht in erweiterter Form und mit Preisen (Februar 2018) auch online bereit²⁵.

Insgesamt belaufen sich die Materialkosten auf knapp 50 €, wobei neben dem eigentlichen Verstärkerbausatz vor allem die Ringkerne und Glimmerkondensatoren für die Tiefpassfilter zu Buche schlagen. Hier liegt womöglich das größte Sparpotential.

-
- ¹ Z. B. von <https://www.aliexpress.com/item/DIY-Kits-70W-SSB-linear-HF-Power-Amplifier-For-YAESU-FT-817-KX3-Ham-Radio/32807365037.html>
- ² US measure: UNC 4-40; UNF 4-48
- ³ Siehe beispielsweise <https://www.qrp-labs.com/>
- ⁴ Beispiele dafür sind: <https://www.amateurfunk-sulingen.de/ovi40-sdr/>, <http://www.m0nka.co.uk/> und <http://rus-sdr.ru/en/>
- ⁵ Einige, dem Autor aktuell bekannte sind unter den folgenden Bezeichnungen im WWW zu finden:
„MINIPA 70 FT-817 HF Amplifier“
„MINIPA 100W SSB linear HF Power Amplifier for YAESU FT-817 KX3 AM CW FM“
„MX-P50M HF Power Amplifier“
„MX-P50A HF Power Amplifier“
„200W HF Power Amplifier/FT-817 ICOM IC-703 Elecraft KX3 QRP PTT control“
- ⁶ In den USA stehen 3D-Drucker bereits in vielen öffentlichen Bibliotheken zur Verfügung.
- ⁷ Kontaktierung über die Website des Autors: <http://www.oelcgs.at/>
- ⁸ Einzige Ausnahme ist R6; siehe dazu Anhang A.
- ⁹ U.a.: <http://pa-11019.blogspot.co.at/2016/11/diy-kits-70w-ssb-linear-hf-power.html>
- ¹⁰ Bezugsquelle: Reichelt Elektronik unter der Artikelnummer V 7331G
- ¹¹ Zu beziehen z. B. bei Conrad unter der Bestell-Nummer 741637. Das sind dann auch schon 2 Stecker samt Kabel.
- ¹² Die Bohrschablone ist in Originalgröße auszudrucken: <http://www.oelcgs.at/downloads/>
- ¹³ Die Druckdateien für die Toner-Transfermethode sind im pdf-Format unter der folgenden Adresse herunterladbar: <http://www.oelcgs.at/downloads/>
- ¹⁴ Die Gerber-Files für eine professionelle Platinenherstellung stehen zum Download zur Verfügung: <http://www.oelcgs.at/downloads/>
- ¹⁵ Bezugsquelle: www.aisler.net
- ¹⁶ <https://www.thingiverse.com/thing:2688656>
- ¹⁷ <http://www.electroschematics.com/835/rfsim99-download/>
- ¹⁸ Bisher konnte ich keine Störungen durch die fehlende Abschirmung feststellen. Sollte dies jedoch einmal der Fall sein, würde ich auf der Innenseite des Gehäuses selbstklebende Kupferfolie anbringen und mit der Gerätemasse verbinden.
- ¹⁹ <https://www.thingiverse.com/thing:2768290>
- ²⁰ Die ausführlichen Messprotokolle stehen unter <http://www.oelcgs.at/50w-hf-verstaerker/> zur Verfügung
- ²¹ Messung von V_{pp} auf dem Oszilloskop bei Lastwiderständen von 25, 35, 50 und 120 Ω , sowie am offenen Ende.
- ²² Beim Yaesu FT-817 z.B. der Pin „TX GND“ in der 8-poligen ACC-Buchse, wo auch GND verfügbar ist.
- ²³ Auffindbar im WWW mit Suche nach „assembled mini 100W HF amplifier“
- ²⁴ http://www.m0rzf.co.uk/20W_Amplifier/index.html
- ²⁵ <http://www.oelcgs.at/downloads/>