

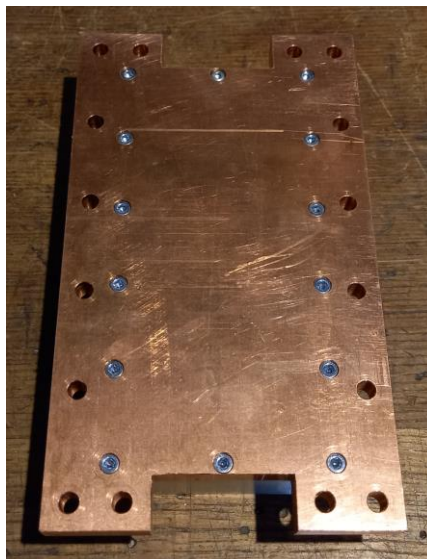
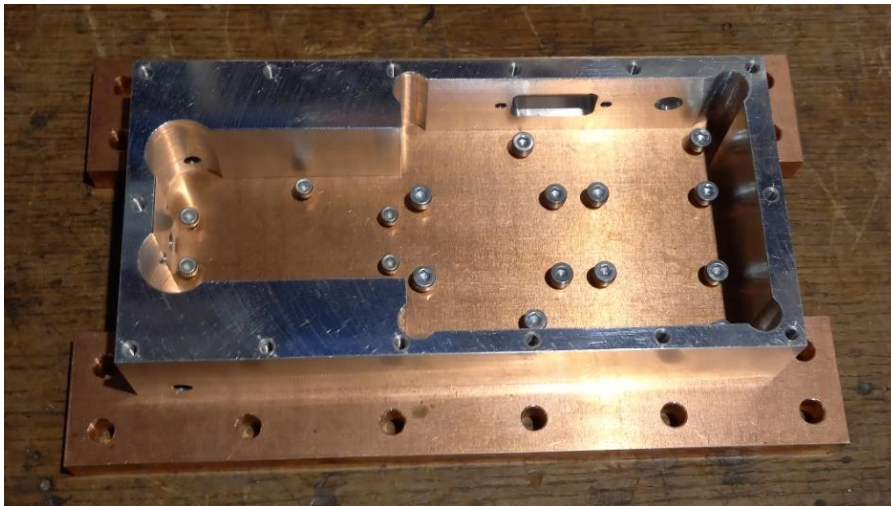
## 2400MHz Power Amplifier basierend auf dem 250W PA Modul BPC2425M9X250 von Ampleon

Matthias DD1US, 30.8.2022, v1.2

**Gefahrenhinweis:** Aufbau und Inbetriebnahme der in diesem Bericht beschriebenen Schaltungen / Geräte dürfen nur durch fachkundige Personen durchgeführt werden. Es besteht bei Kontakt mit Gleich- und Wechselspannungen sowie bei Hochfrequenzfeldern die Gefahr eines lebensgefährlichen Stromschlags bzw. Verbrennungen. Diese können auch zu dauerhaften körperlichen und psychischen Schäden führen. Vom Autor wird keinerlei Haftung übernommen!

### Der Anfang

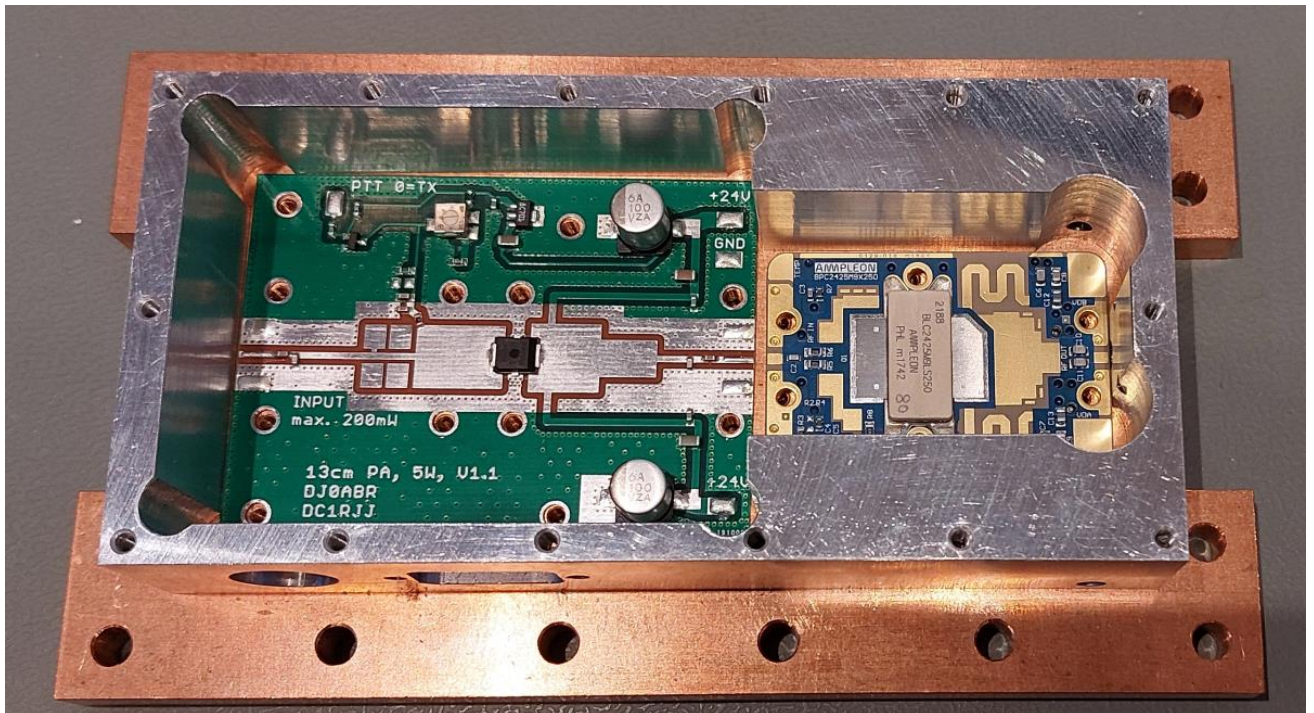
Vor einigen Monaten überraschte mich ein befreundeter OM, Ludwig DJ7UC, mit einem besonderen Geschenk. Er schickte mir ein professionell hergestelltes Fräsgehäuse mit integriertem Heatspreader für eine 13cm PA, basierend auf einem Ampleon Modul des Typs BPC2425M9X250 sowie einer 5W Treiberplatine von Kurt DJ0ABR. Das Ampleon Modul basiert auf einem LDMOS Transistor BLC2425M9LS250 von Ampleon, die Treiberplatine auf einem MHT1008N von NXP. Das Gehäuse entstand nach einem Plan von Kurt DJ0ABR, allerdings ohne den integrierten Ausgangsrichtkoppler.



So war ein neues Projekt, eine PA für den DATV-Uplink von QO-100 bei 2400MHz, geboren.

Das Ampleon Modul ist für eine maximale Ausgangsleistung von 250 Watt spezifiziert. Für den DATV-Betrieb über QO-100 ist erfahrungsgemäß ein „backoff“ von ca. 6dB nötig, d.h. nur ¼ der maximalen Ausgangsleistung wird verwendet, um ein sauberes Sendesignal zu erzeugen. Es ergibt sich sonst ein zu starkes Anwachsen der „Schultern“ des Sendespektrums durch Intermodulationen in der Endstufe. Mit der hier beschriebenen Endstufe sollte also eine Ausgangsleistung von ca. 60W mit guter Qualität erzielbar sein, was dann auch prima den Amateurfunkvorschriften in Deutschland, nämlich einer maximalen Sendeleistung von 75 Watt im 13cm Band, entspricht.

Als nächstes ging es um die Beschaffung der beiden Baugruppen Treiber und Endstufenmodul. Bald war ich fündig:



### Steuerung „PACON V1.0“

Vor ca. 3 Jahren hatten Stefan DG8FAC und Kurt DJ0ABR für die AMSAT-DL eine 2400MHz Endstufe entwickelt und gebaut. Sie wurde von der AMSAT-DL an DPOGVN in der deutschen Antarktis-Forschungsstation Neumayer III gestiftet. Auch diese Endstufe basiert auf einem Ampleon Modul und nach Rücksprache mit den beiden konnte ich einen übrigen Prototyp der Steuerung nebst Bias-Spannungserzeugung bekommen. Diese Steuerung „PACON V1.0“ beinhaltet mehr Funktionen als ich in meiner Applikation benötige, denn die Endstufe für DPOGVN beinhaltet auch noch 2 Upkonverter und einen Downkonverter, aber das stört ja nicht weiter.

- Herz der Steuerung ist ein uController des Typs STM32.
- Die Steuerung stellt 2 PTT-Eingänge zur Verfügung, da sie für einen alternativen Betrieb auf dem Schmalband- und Breitbandtransponder vorgesehen ist. Ich verwende nur einen Steuereingang und zwar PTT-WB. Zieht man den Pin 2 der Buchse J7/PC-Shack nach Masse, so wird die PTT aktiviert. Daraufhin wird die integrierte Ablaufsteuerung aktiviert.

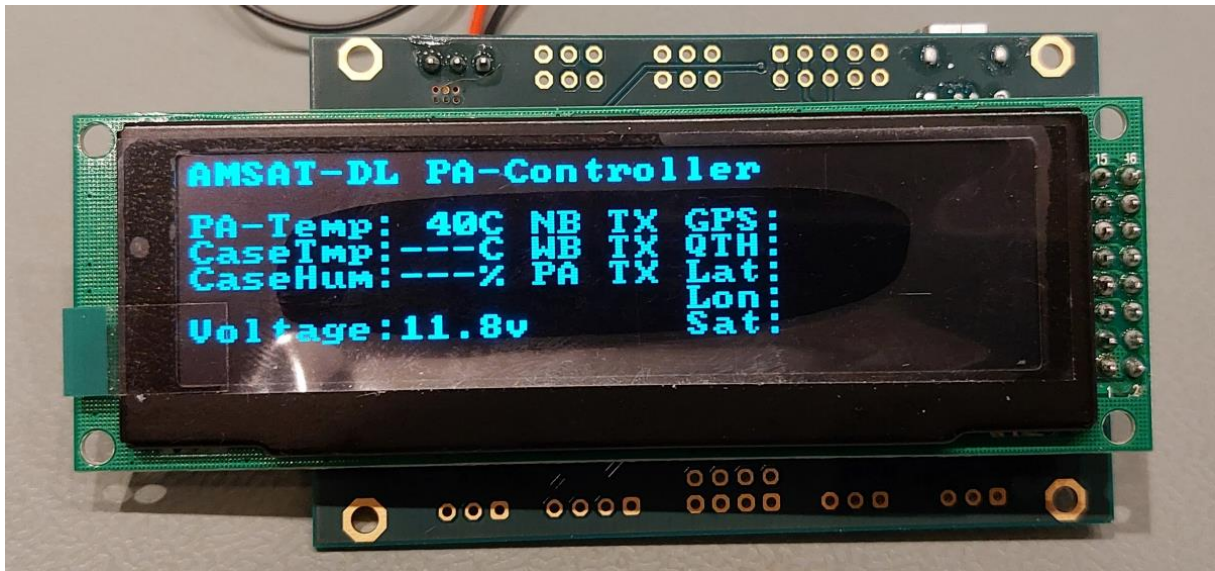
- Die integrierte Ablaufsteuerung stellt sicher, dass nach dem Aktivieren der PTT zunächst die Gatespannung des Ampleon Modul eingeschaltet wird und dann 10ms später der PTT-Eingang der Treiber-PA aktiviert wird. Für das Einschalten der Gatespannung ist das Steuersignal PTTA auf Pin1 des Steckers ST1/PACTL vorgesehen. Für die Aktivierung der Treiber-PA verwende ich das Signal PTT2 auf Pin 5 des Steckers J3/UP2.
- Falls man als PTT Steuereingang das Signal PTT-NB (Pin 4 des Steckers J7/PC-Shack) verwendet, dann ist das um 10ms verzögerte Steuersignal für die Treiber-PA am Pin 5 des Steckers J2/UP1 zu finden (Signal PTT1).
- Der Controller zeigt die Temperatur des Ampleon Moduls an. Auf diesem ist ein entsprechender NTC-Widerstand verbaut, welcher als Teil eines Spannungsteilers beschaltet wird. Hierzu ist vom Pin 1 des Steckers ST1/PACTL ein 2.2kOhm Widerstand zur 3.3V Versorgungsspannung des uControllers einzufügen. Die Spannung des Teilers wird über einen AD-Wandler des uControllers ausgewertet.  
Bei einer Temperatur von grösser 70°C schaltet die Steuerung die komplette PA ab.
- Außerdem kann ein DHT11 Modul angeschlossen und damit die Temperatur und Luftfeuchte im PA-Gehäuse angezeigt werden.
- Basierend auf den PTT Signalen sowie der gemessenen Temperatur des Endstufenmoduls regelt die Steuerung die Pumpe sowie den Lüfter der Wasserkühlung.
- Die Buchse J4=PUMP hat die folgenden 3 Anschlüsse: 1=GND, 2= von der Steuerung geschaltete 12V und 3=Tachoaussgang TACHO-P  
Die Drehzahl der Pumpe wird nicht geregelt, aber ihre einwandfreie Funktion wird anhand des Tachoaussgangssignals überwacht.
- Die Buchse J5=FAN hat die folgenden 4 Anschlüsse:  
1=GND, 2= von der Steuerung geschaltete 12V, 3=Tachoaussgang TACHO-F und 4=PWM-Ausgang. Mittels des PWM-Ausgangs wird der Lüfter in Abhängigkeit der Endstufentemperatur in der Drehzahl geregelt.
- Die Steuerung misst ihre Versorgungsspannung (typisch 12V) und zeigt diese an.
- Die Stecker J2=UP1, J3=UP2 und J6=DWN sind zur Steuerung von zwei Upkonvertern und einem Downkonverter der AMSAT-DL vorgesehen. Es werden darüber die seriellen Statusinformationen der Konverter ausgelesen und in einen kombinierten Datenstrom umgesetzt. Diese seriellen Daten sind dann an einer RS232-Schnittstelle J7/PC-Shack verfügbar.
- An den Controller kann auch ein GPS-Modul angeschlossen werden. Dies ist sinnvoll, wenn der Controller in Verbindung mit Up- und Downkonvertern genutzt wird und aus dem GPS-Modul dann auch die Referenzfrequenzerzeugung erfolgt. Ich habe dies nicht benutzt.
- Die Buchse J2/I2C-BUS wird derzeit nicht benutzt. Sie ist für Erweiterungen vorgesehen.
- Der Mini-USB-Port P1 wird zum Programmieren des uControllers benutzt.
- Wird auf der Buchse P4 ein Jumper gesetzt, so wird der Controller in den Programmiermodus versetzt.
- Die Buchse J8/TAST&LED stellt einen Eingang für einen Taster zur Verfügung. Die Helligkeit des OLED Displays wird nach einer gewissen Zeit automatisch reduziert. Dies ist insbesondere im abgesetzten Betrieb nützlich, um die Lebensdauer des OLEDs nicht unnötig zu verkürzen. Möchte man im Betrieb das Display wieder auf volle Helligkeit schalten, so werden die Pins 3 und 4 der Buchse J8 kurzgeschlossen. Möchte man das Dimmen des Displays deaktivieren, so kann auch einfach dauerhaft eine Steckbrücke auf die beiden Pins 3 und 4 aufgesteckt werden.
- An der Buchse J8/TAST&LED kann außerdem eine rote LED angeschlossen werden, die man beispielsweise in die Frontplatte der Endstufe einbaut. Diese On-Air LED wird bei betätigter

PTT aktiviert. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn man die automatische Dimm Funktion des OLED-Displays aktiviert hat. Wird das Display stets mit voller Helligkeit betrieben, so kann die aktive PTT leicht auch dem Display abgelesen werden. Die Anode der LED wird an Pin 2, die Kathode an Pin 1 angeschlossen.

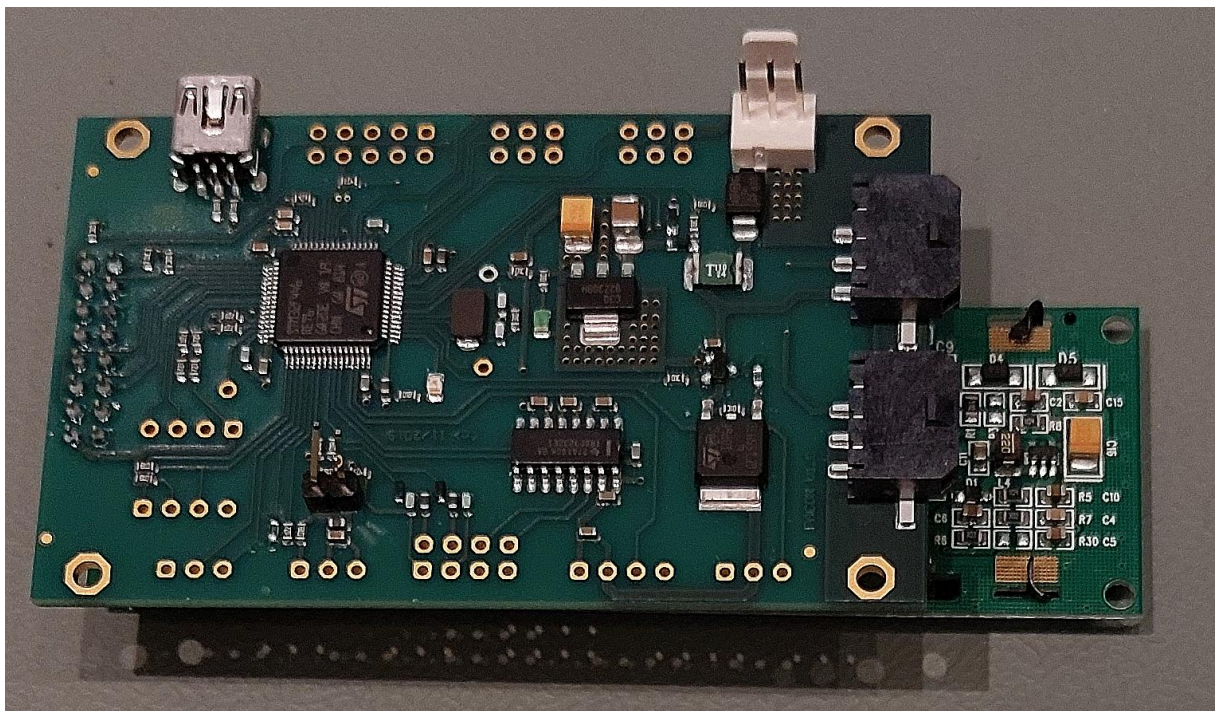
- Der Sourcecode der Steuerung ist unter der GNU General Public License frei verfügbar und ist auf der folgenden Github-Seite zu finden:

<https://github.com/amsat-dl/250W-PA-Controller>

Vorderseite der Steuerung „PACON V1.0“

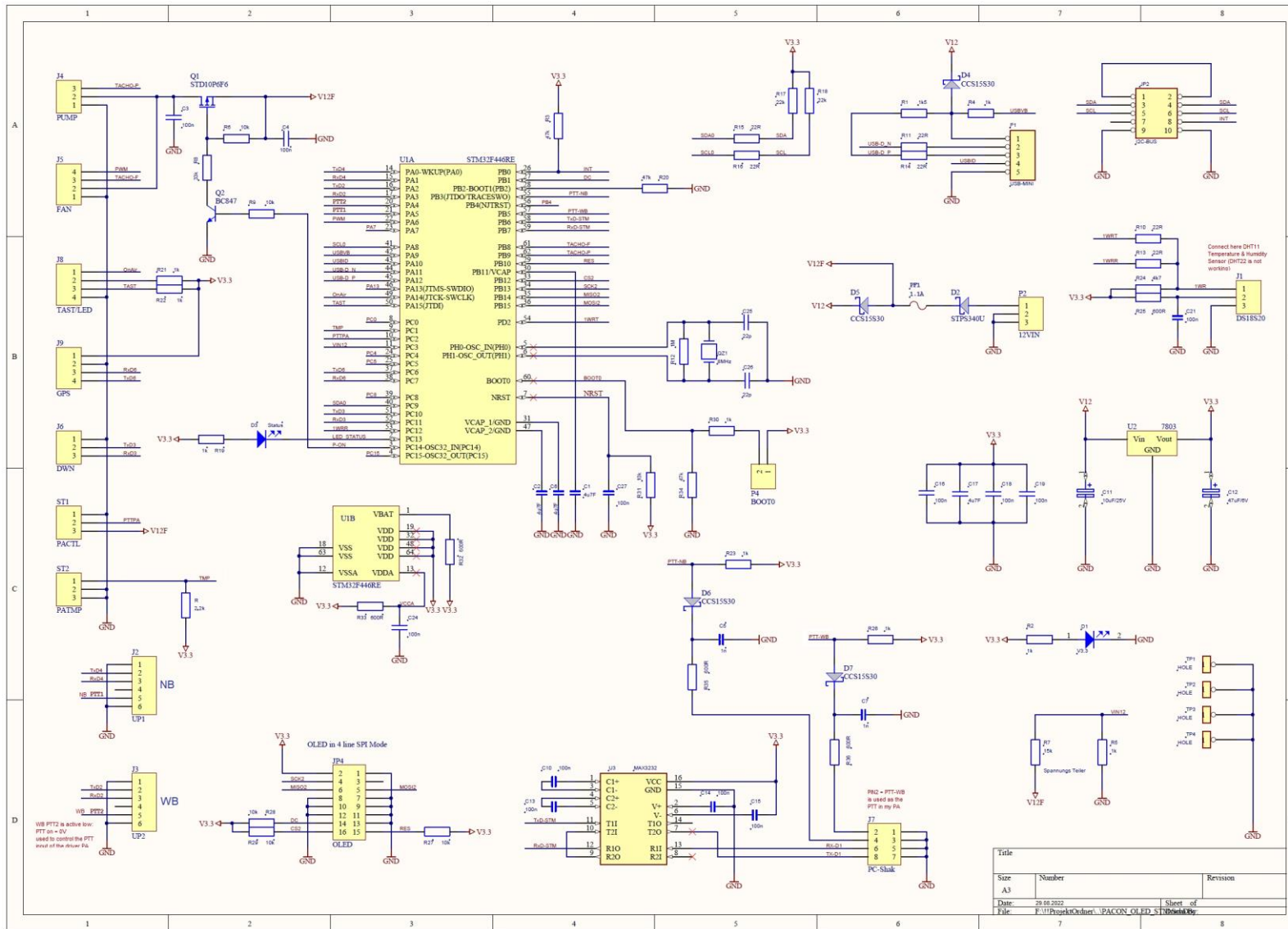


Rückseite der Steuerung "PACON V1.0"

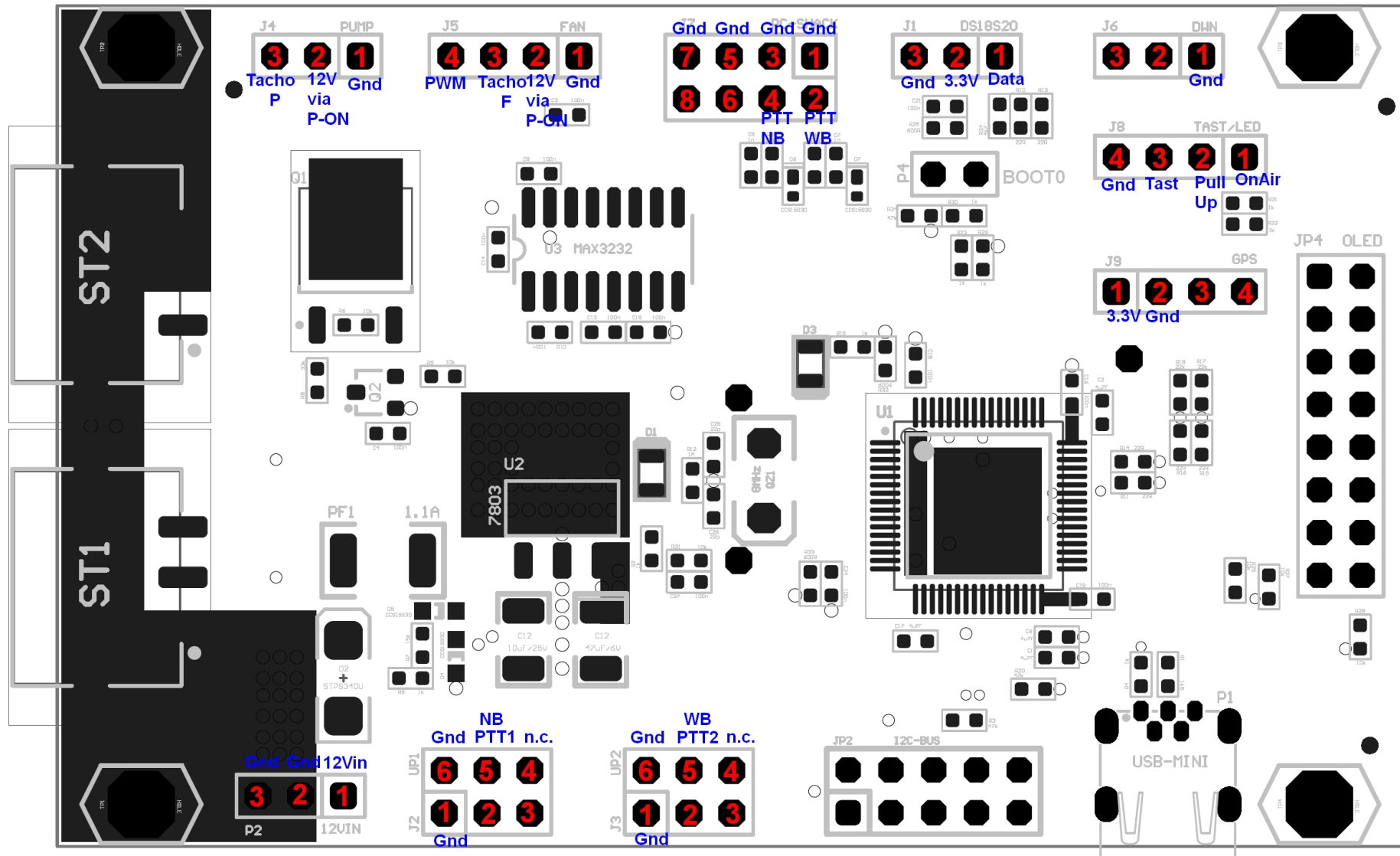


In dem Bild oben hatte ich noch nicht alle Buchsen für die Pfostensteckverbinder eingelötet. Für die 3 poligen schwarzen Buchsen ST1 und ST2 habe ich keine passenden Stecker gefunden und habe sie deshalb durch kleinere vorhandene Stiftleisten und passende Stecker ersetzt.

## Steuerung „PACON V1.0“: Schaltplan (mit Korrekturen)

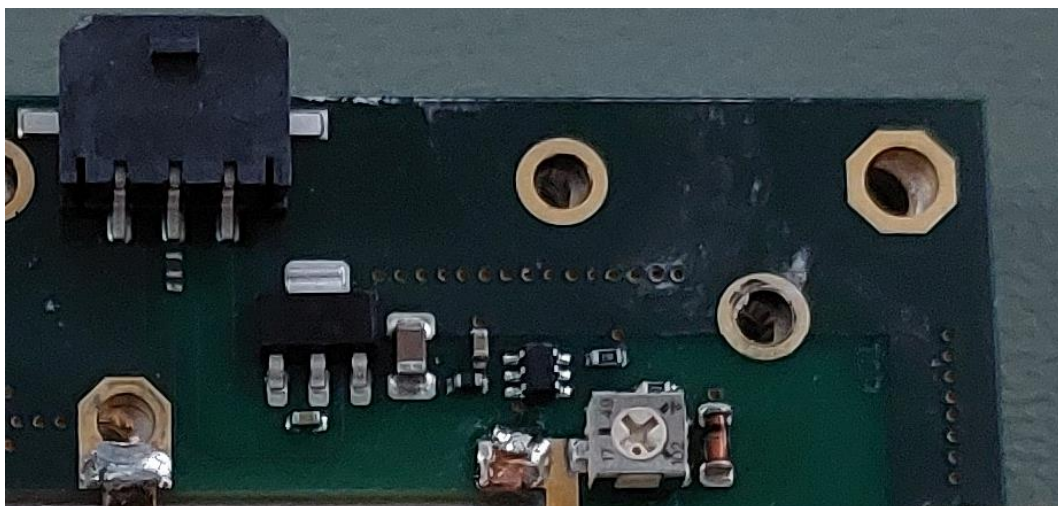
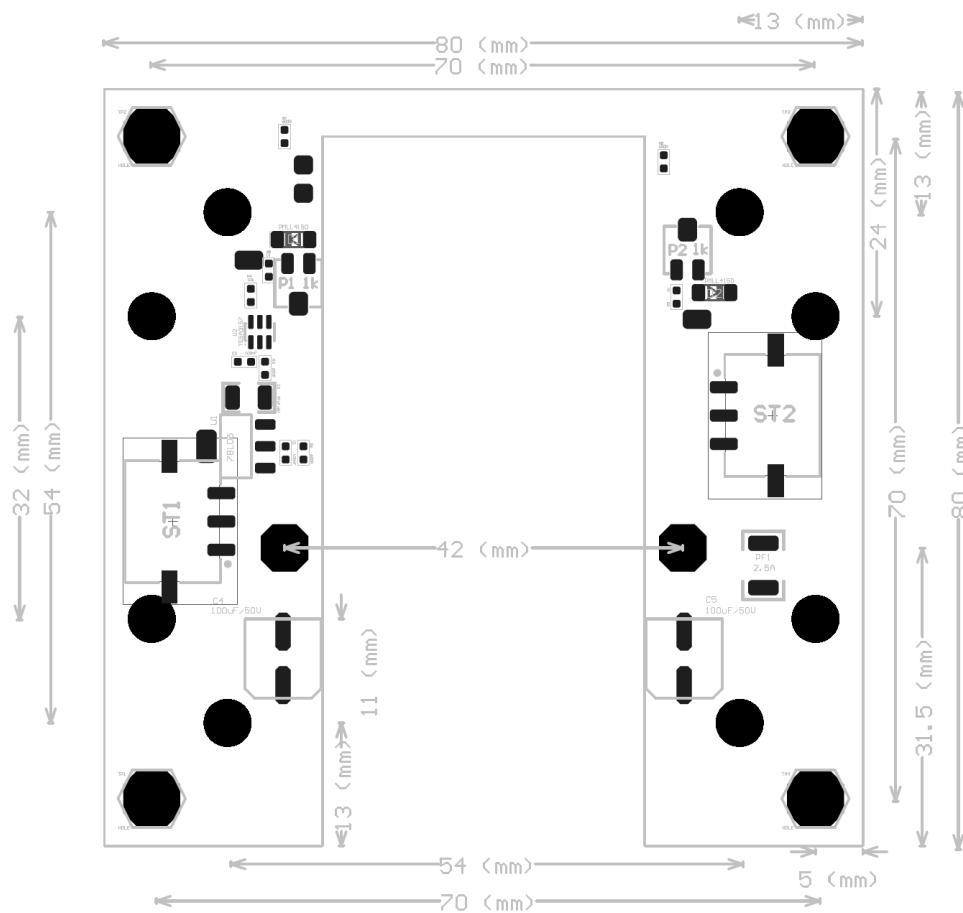


## Steuerung „PACON V1.0“: Bestückungsplan (mit Kommentaren und Korrekturen)



## „Biasing Board“ Bestückungsplan

Das von mir verwendete Board ist nicht ganz identisch zu der nachfolgenden Zeichnung, dennoch recht ähnlich.



Verwendet wurde nur der linke Bereich des Biasing Boards (5V Spannungsregler, Analogschalter, Trimpotentiometer für die ca. 1,8V Gatespannung).

Für die 3 poligen schwarzen Buchsen ST1 und ST2 habe ich keine passenden Stecker gefunden und habe sie deshalb durch kleinere vorhandene Stiftleisten und passende Stecker ersetzt.

## Kühlung

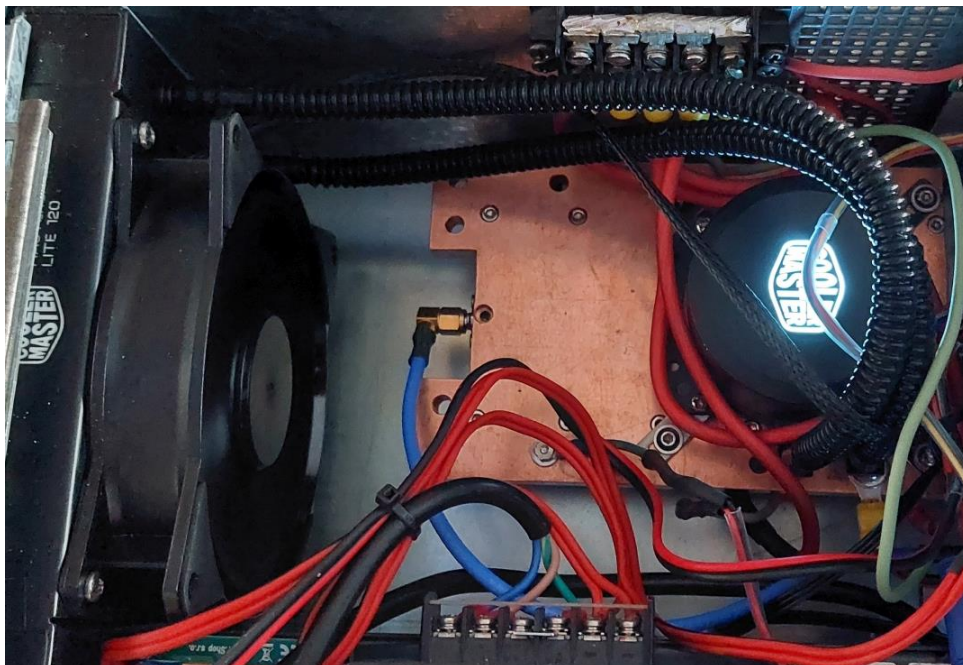
Ich hatte bisher keinerlei Erfahrung mit wassergekühlten Endstufen. Da die 2400MHz PA für DPOGVN eine Wasserkühlung nutzt und die Ansteuerung der Kühlung bereits in dem Controller „PACON V1.0“ integriert ist, fiel mir die Entscheidung leicht, nun meine erste wassergekühlte PA zu bauen.

Zum Einsatz kam eine PC-Wasserkühlung des Typs COOLER MASTER MasterLiquid Lite 120.



Diese kompakte Wasserkühlung beinhaltet alle nötigen Komponenten in einem geschlossenen Kühlkreislauf: Kühler mit 120mm Lüfter, Verbindungsschläuche und Pumpe mit Wärmetauscher.

Normalerweise wird die Pumpe mit Wärmetauscher mit beiliegendem Montagematerial auf den zu kühlenden Prozessor geklemmt. Dann wird die Wärme aus dem Prozessor über die Kupferplatte und innenliegende Rippen an das Wasser abgeführt. In meinem Fall wird die Pumpe mit dem Wärmetauscher auf die große Kupferbodenplatte der Endstufe montiert.



Ein typischer Prozessor, für den dieses Kühlsystem gedacht ist, hat eine Leistungsaufnahme von ca. 100-170W. Ich war also nicht sicher, ob dieses System auch längere Sendeperioden bei voller Leistung überbrücken konnte, ohne dass die Endstufe zu heiß wird. Ergebnisse meiner Untersuchungen sind am Ende dieses Berichtes zu finden 😊

## Stromversorgung

Als Stromversorgung habe ich 2 kommerzielle Netzteile der Firma Lambda eingesetzt. Mit diesen bzw. ähnlichen Netzteilen habe ich in der Vergangenheit bereits sehr gute Erfahrungen gemacht.

Als Netzteil für die 28V Versorgung der Endstufe und des Treibers kommt der TYP Lambda JWS-600-24 zum Einsatz. Dieses Netzteil kann einen maximalen Ausgangsstrom von 27A liefern und hat damit bezüglich des benötigten Maximalstroms von 16A genügend Leistungsreserve.

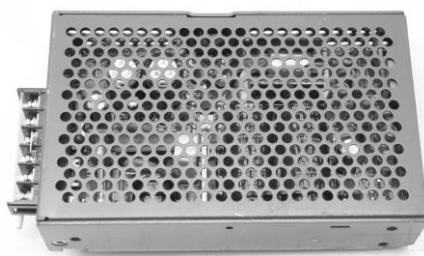


Die Ausgangsspannung ist in einem geringen Bereich (-10% bis +20%, also ca. 22V bis 29V) variierbar. Ich habe sie auf 28V eingestellt.

Das JWS-600-24 arbeitet in einem Eingangsspannungsbereich von 85 bis 265VAC und hat eine Reihe von Schutzschaltungen integriert, wie Überspannungsabschaltung (OVP), Überstromabschaltung (OCP) und Übertemperaturabschaltung (OTP).

Da der integrierte Lüfter des Netzteils immer mit voller Drehzahl läuft und recht laut ist, habe ich ihn durch einen Lüfter der Firma Pabst ersetzt. Dieser hat einen Spannungsbereich von 12-24V. Bei den angelegten 12V läuft er mit einer ausreichenden Drehzahl und ist dabei wesentlich leiser.

Für die Versorgung der Steuerung sowie Kühlung kommt ein Netzteil des Typs Lambda EWS-50-12 zum Einsatz. Dieses Netzteil liefert 12V und einen maximalen Strom von 4,4A.



Auch das EWS-50-12 arbeitet in einem Eingangsspannungsbereich von 85 bis 265VAC und hat sowohl eine Überspannungsabschaltung (OVP) sowie eine Überstromabschaltung (OCP) integriert.

Da die internen Komponenten incl. Steuerung und Kühlung maximal 1A benötigen, habe ich auf der Rückseite des Gehäuses DC-Buchsen eingebaut und kann damit externe Geräte wie einen ATV-Sender mit 12V 3A max. versorgen.

## Anzeige für Spannung, Strom, DC-Leistung und mehr

Als Anzeige für Spannung, Strom, DC-Leistungsaufnahme sowie einige Zusatzanzeigen habe ich ein Modul der Firma G.T. Power RC gekauft und aus dem ursprünglichen Kunststoffgehäuse ausgebaut. Das Display mit Messeinheit habe ich daraufhin in das Gehäuse der Endstufe eingebaut. Einen passenden Kunststoffrahmen hatte ich glücklicherweise noch zur Hand. Solche Module sind in Ebay unter diversen Handelsnamen für ca. 17 Euro incl. Versand zu finden. Das Modul versorgt sich ab 4,8V direkt aus der zu messenden Spannung. Es hat einen Spannungsbereich bis 60V und einen Strombereich bis 130A.

Die folgenden 3 Messgrößen werden kontinuierlich angezeigt:

- Spannung (hier typ. 28V)
- Strom
- DC-Leistung

Zusätzlich werden links unten im Wechsel angezeigt:

- Energie in Wh
- Spitzenstrom Ap
- summierte Stromaufnahme in Ah
- minimale Spannung Vm
- maximale Leistung Wp

All diese Werte beziehen sich auf den Zeitraum seit dem letzten Einschalten der Endstufe.

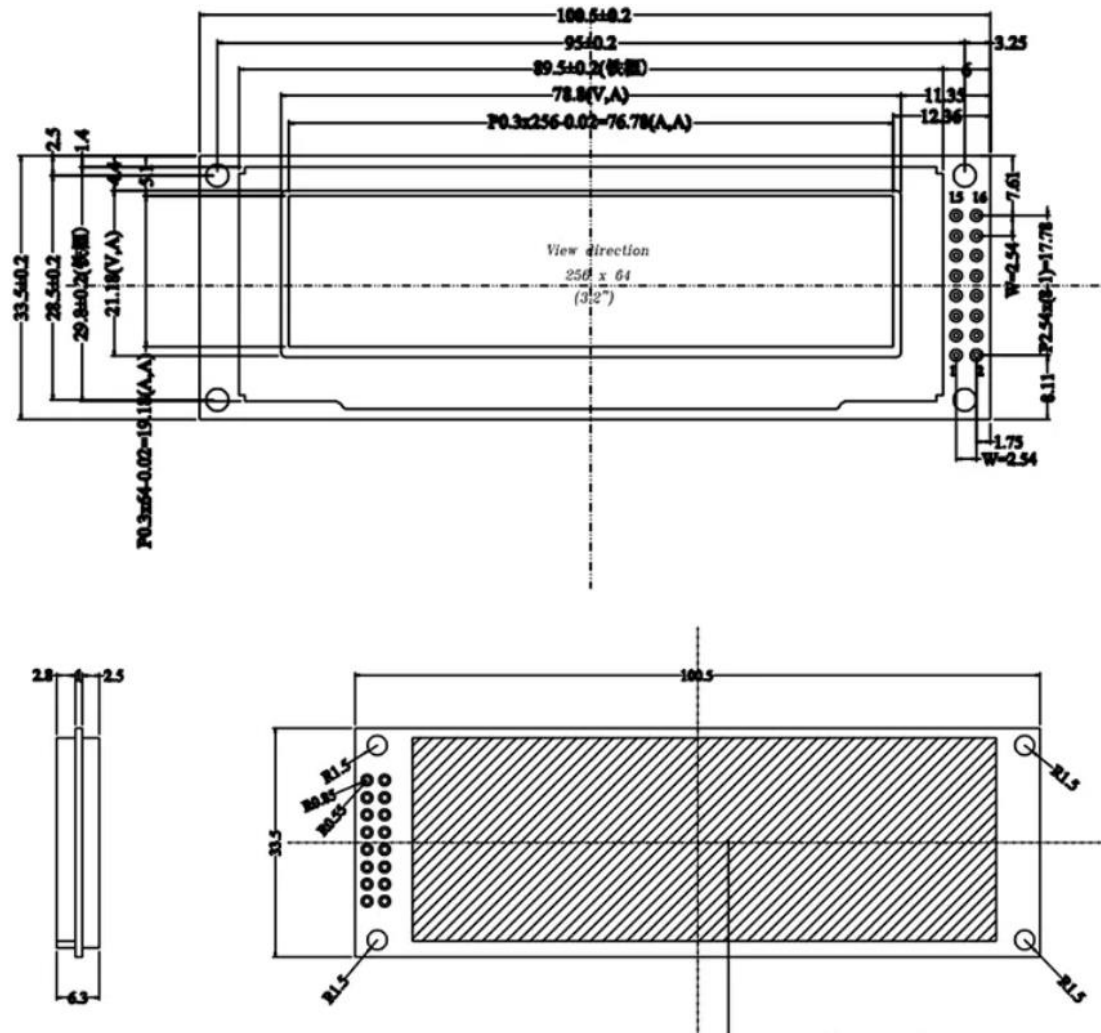


Zu beachten ist, dass die Strommessung mittels eines Shunts in der Minusleitung erfolgt. Diese darf also erst nach dem Messgerät mit Masse verbunden werden!

## OLED Display

Hier die Daten des verwendeten OLED Displays:

Display Type:	oled display
Display Mode:	Passive Matrix
Model Number:	TW56640320B03-Y
Diagonal Screen size:	3.12 inch
Interface:	Parallel, 3-/4-wire SPI
Drive Duty:	1/64 Duty
Number of Pixels:	256 x 64
Panel Size:	100.5(W)x33.5(H)x6.3Max(T)
Driver IC:	SSD1322
Active Area:	76.78(W)x19.18(H)
Pixel Pitch:	0.30(W)x0.30(H)
Pixel Size:	0.28(W)x0.28(H)
Weight:	TBD
Operating Temperature:	-40~85°



Da ich keinen passenden Kunststoffrahmen für das OLED fand, habe ich eine lasergeschnittene Blende, die mir ein Freund angefertigt hatte, verwendet.



Im Bild oben war der NTC-Widerstand des Ampleon Moduls noch nicht angeschlossen. Deshalb ist die angezeigte PA-Temperatur 115°C was den Emergency-Shutdown ausgelöst hat.

Die rechten Anzeigepunkte GPS, QTH, Lat, Lon und Sat sind in meiner Anwendung nicht relevant, denn ich habe kein GPS-Modul an meinen Empfänger angeschlossen.

## Gehäuse

Als Gehäuse für die Endstufe fand ich in meinem Fundus ein gut erhaltenes gebrauchtes Gehäuse. Die Abmessungen sind:

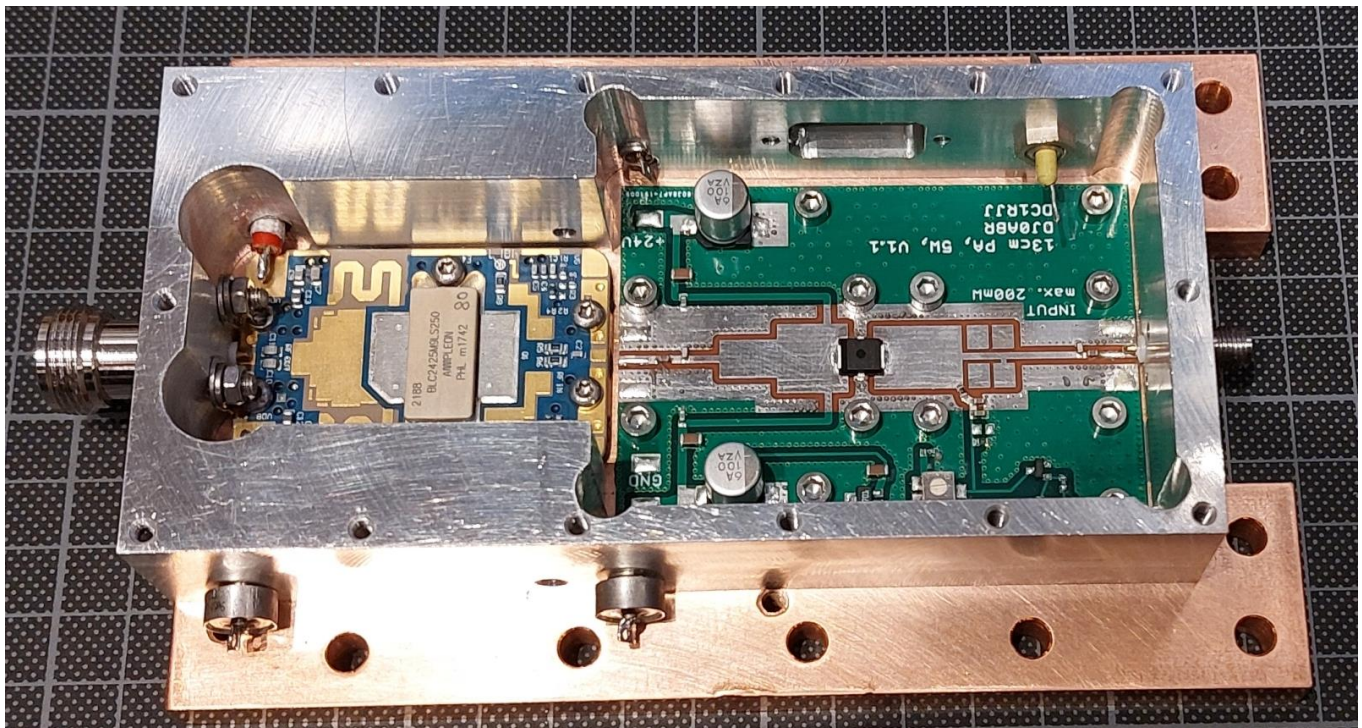
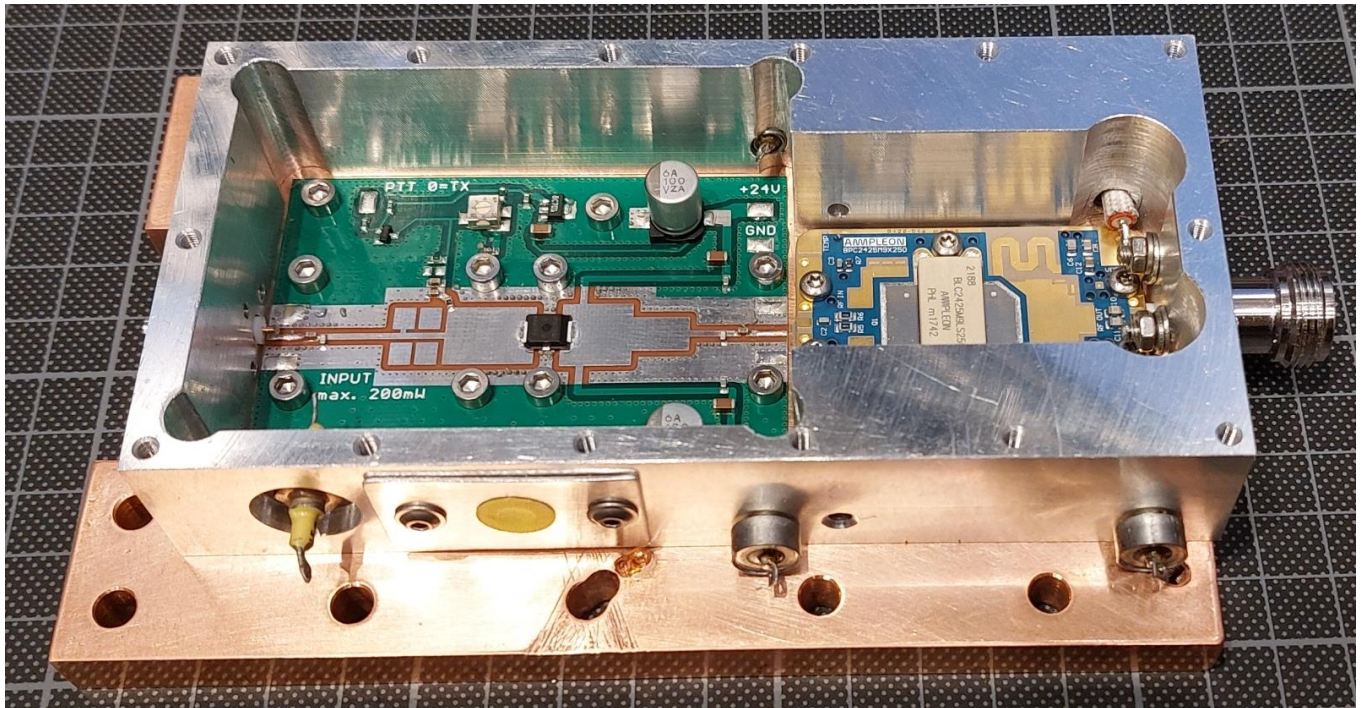
- Breite 34cm
- Höhe 15,5cm (mit Aufstellfüßen 17,5cm)
- Tiefe 30cm

Das Gehäuse wurde entsprechend den applikationsspezifischen Anforderungen modifiziert. Insbesondere wurde die Rückwand durch ein Aluminiumgitter ersetzt, damit die warme Abluft vom 28V-Netzteil und der HF-Endstufe mit minimalem zusätzlichem Luftwiderstand nach Außen geleitet wird.

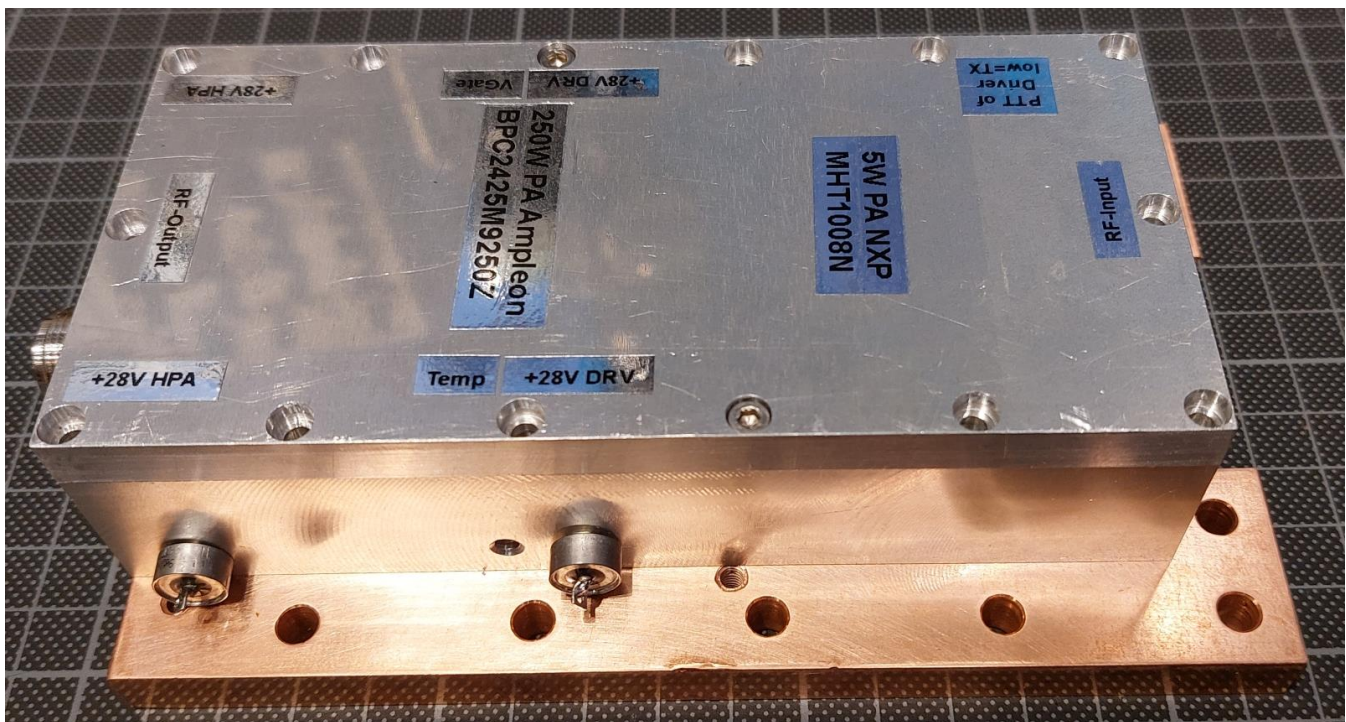
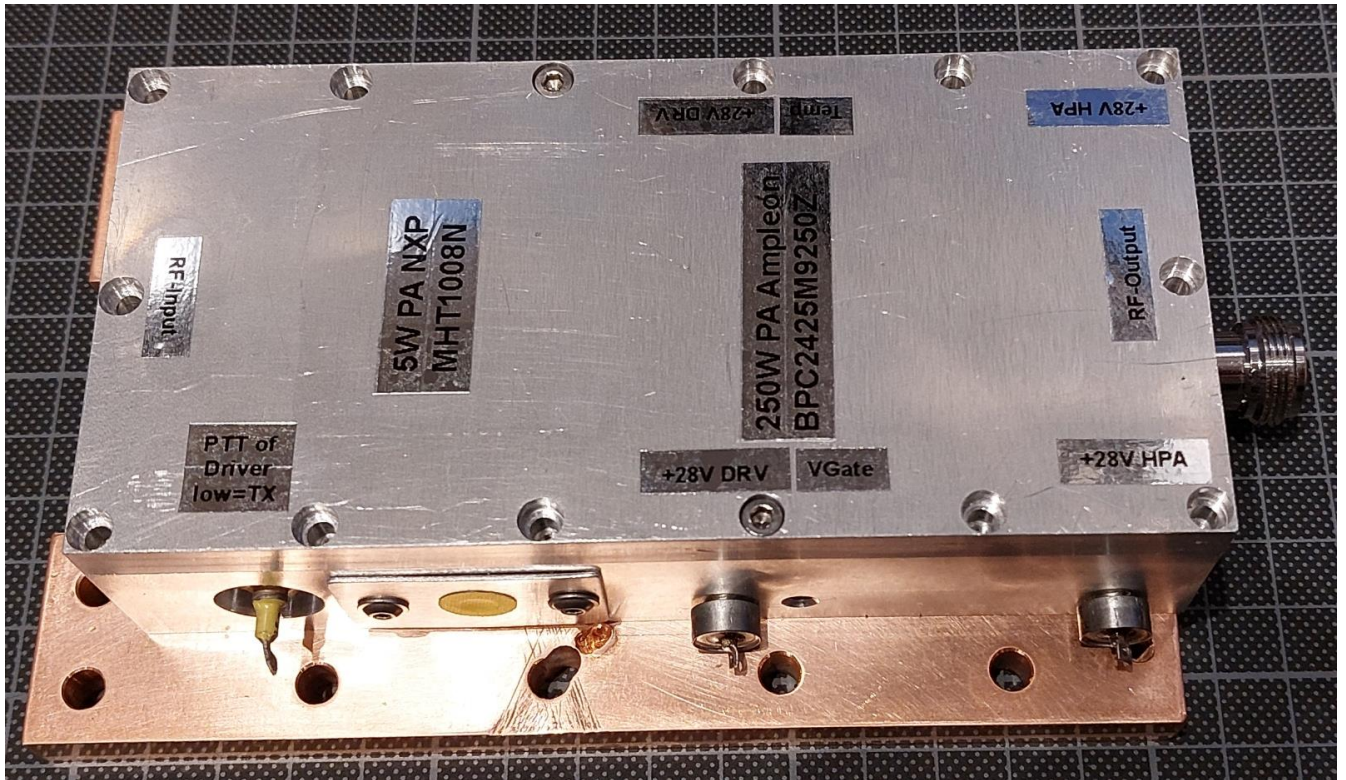
Detailbilder des Gehäuses sind an späterer Stelle in dieser Beschreibung zu finden.

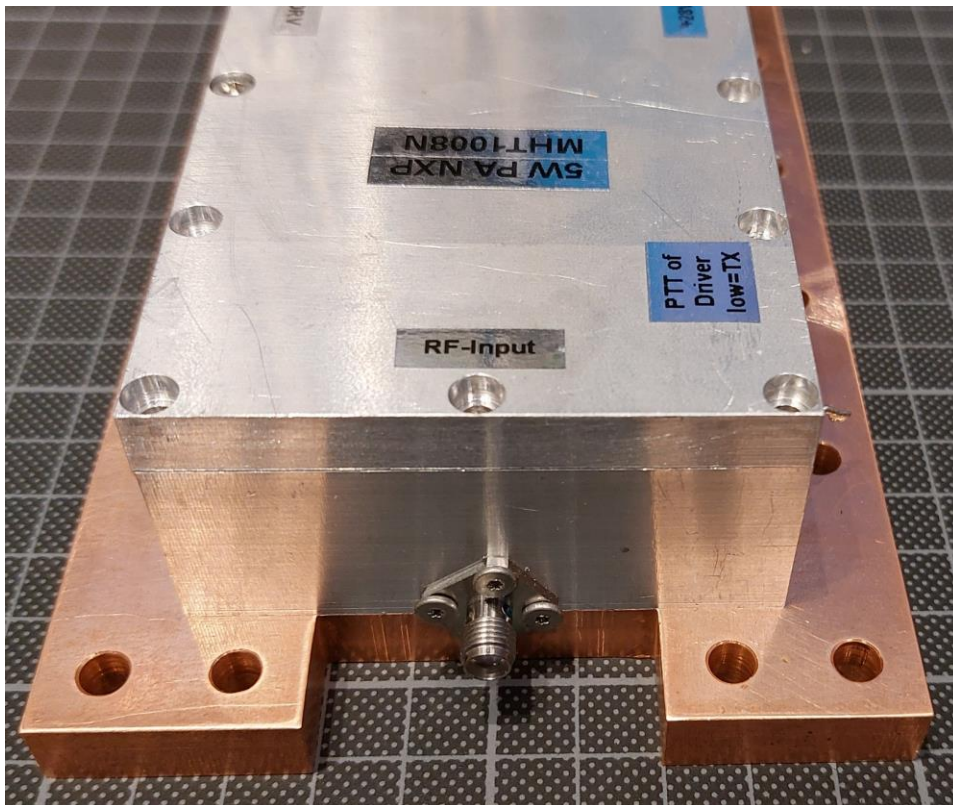
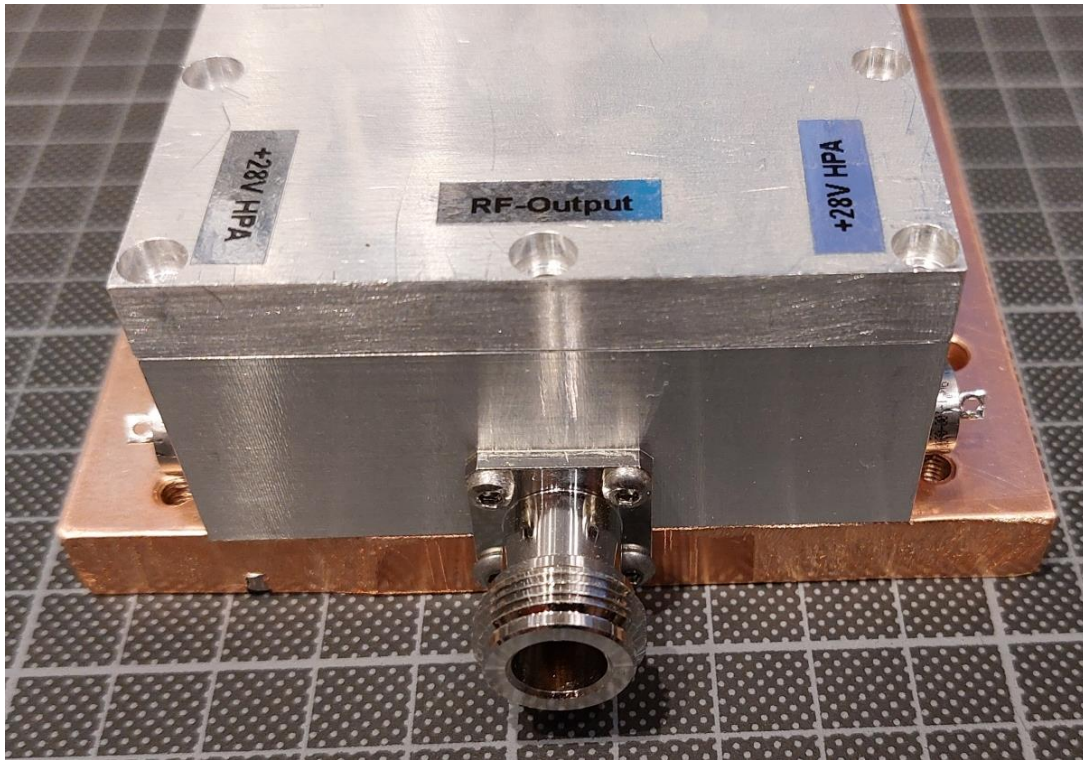
... und noch etwas vorab: die fertige Endstufe inklusive aller eingebauten Baugruppen wiegt 10,7kg, das ist also durchaus noch „tragbar“ 😊

## Aufbau des HF-Endstufen-Moduls



Links ist die HF-Ausgangsbuchse in N-Norm, rechts die HF-Eingangsbuchse in SMA-Norm zu sehen. Die 28V Spannungszufuhr sowohl für die PA als auch den Treiber sind symmetrisch jeweils links und rechts über Durchführungsfilter realisiert. Die PPT-Steuerung der Treiber-PA ist über einen Durchführungskondensator ausgeführt. Gatespannung und Temperatursensorausgang des Ampleon Moduls sind bereits auf dem Modul abgeblockt und auf kürzestem Weg aus dem Gehäuse geführt.





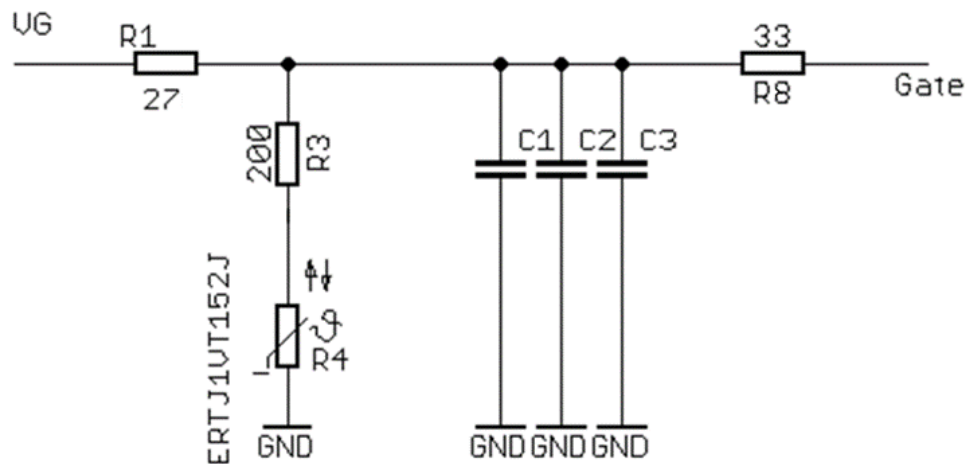
## Änderungen der Ruhestromregelung des Ampleon Moduls

Kurt DJOABR hat die Ruhestromstabilisierung des Ampleon Moduls genau analysiert. Er hat seine Analysen auf seiner Homepage sehr detailliert beschrieben:

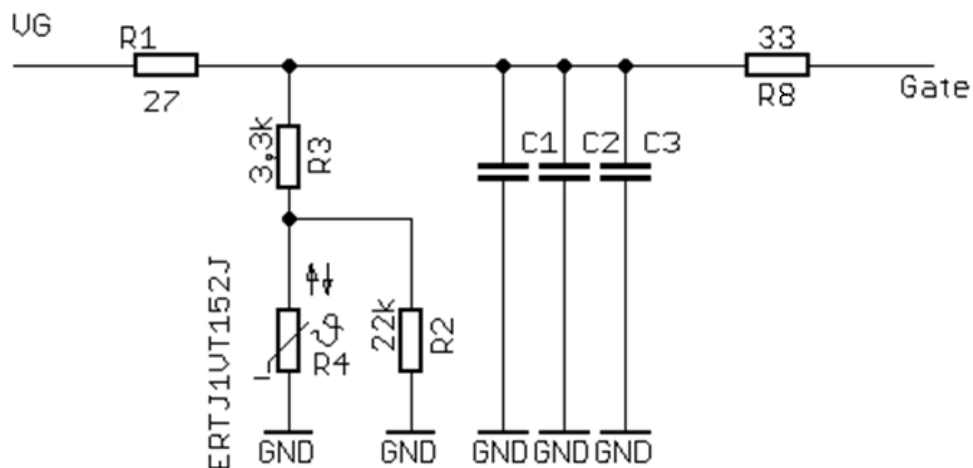
<https://projects.dj0abr.de/doku.php?id=de:sat:pa250:overview>

Das Ampleon Modul hat einen NTC-Widerstand, welcher den Ruhestrom bei steigender Temperatur reduziert. Damit wird ein stabiler Arbeitsbereich erreicht. Leider ist diese NTC-Schaltung nur für CW-Pulse Betrieb ausgelegt. In unserem linearen A-Betrieb ist sie gänzlich ungeeignet. Selbst bei geringster Temperaturerhöhung sinkt der Ruhestrom extrem ab und ein Funkbetrieb wird damit unmöglich. Daher wird die Originalschaltung modifiziert.

Ursprünglich:



Nach den Änderungen:



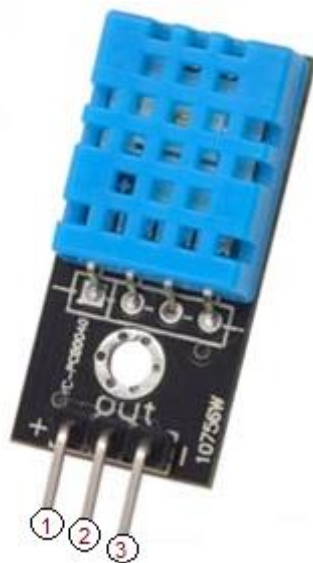
Im Layout befindet sich ein freier Lötplatz für den Widerstand  $R2$  parallel zu  $R4$ . Hier wurden 22k eingelötet um die Wirkung des NTCs etwas zu verringern. Danach wurde der 200 Ohm Widerstand  $R3$  durch einen 3,3 kOhm Widerstand ersetzt.

Durch diese Änderungen auf dem Ampleon Modul reduziert sich der Ruhestrom bei steigenden Temperaturen nur noch leicht, was immer noch einen sicheren Betrieb garantiert.

## Anzeige von Temperatur und Luftfeuchte im Gehäuse

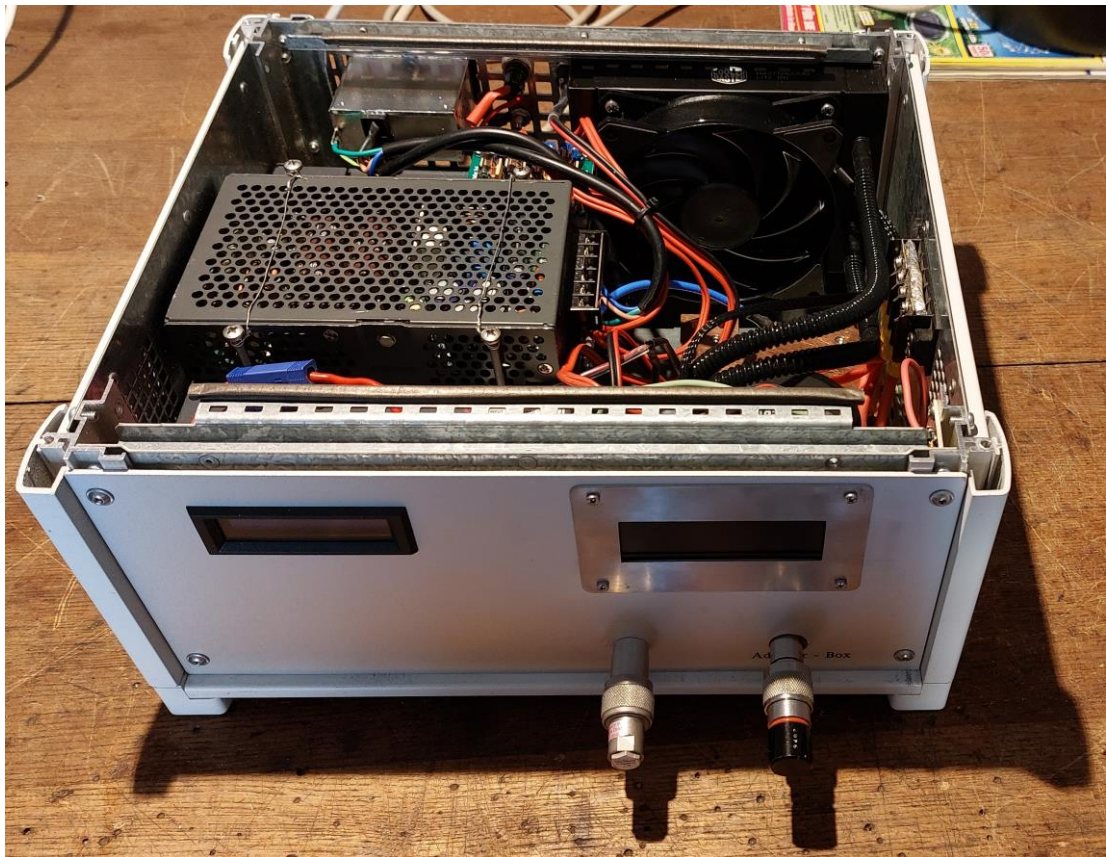
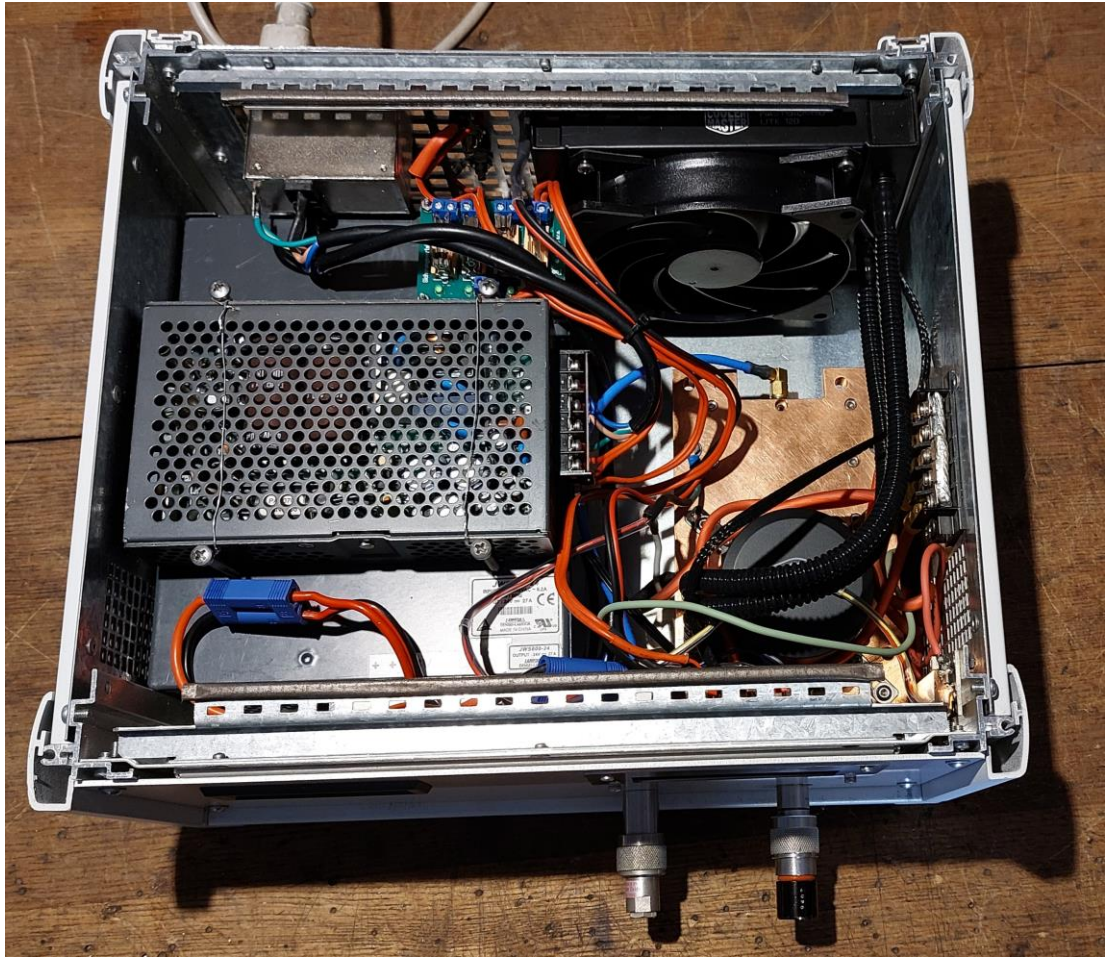
Zusätzlich zur Anzeige der Temperatur auf der Oberfläche des Ampleon Moduls unterstützt die Firmware den Anschluss eines Temperatur-Feuchte-Sensors des Typs DHT11. Damit lassen sich die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit im Innenraum des Gehäuses anzeigen. Hier die Spezifikationen des DHT11:

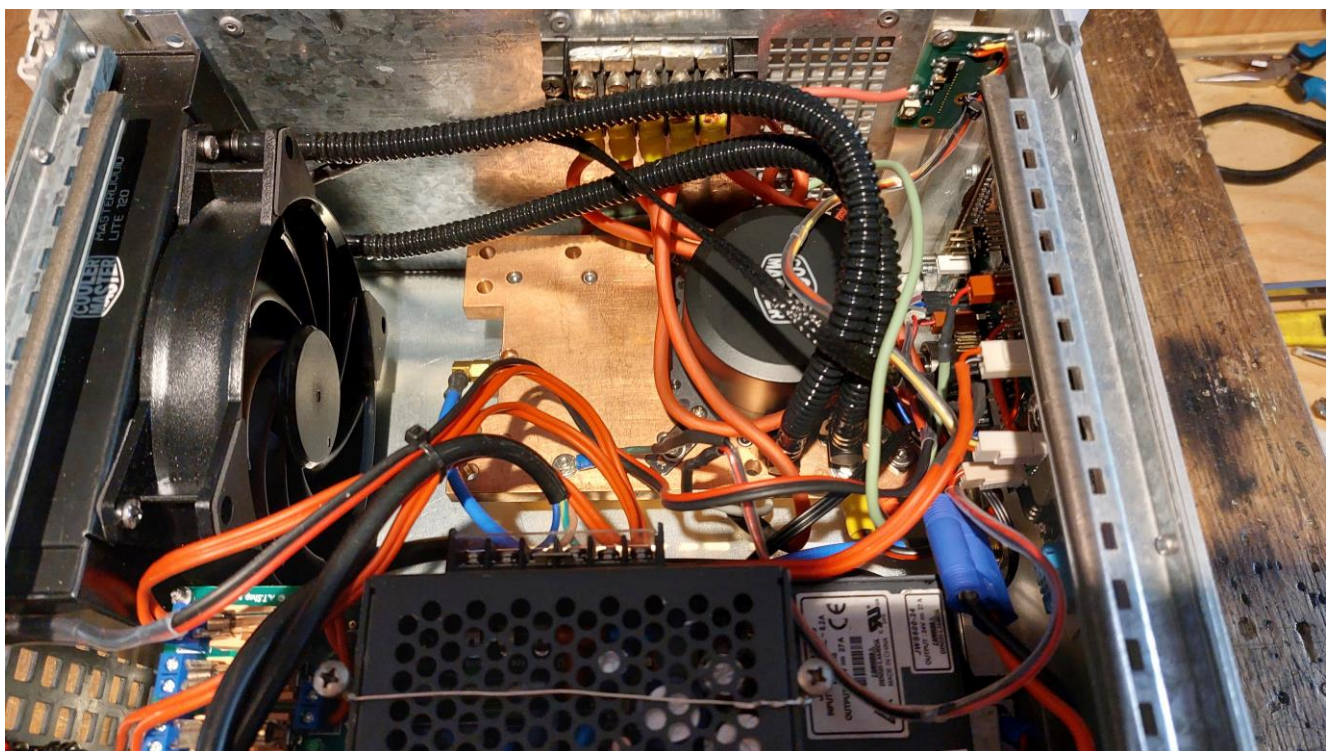
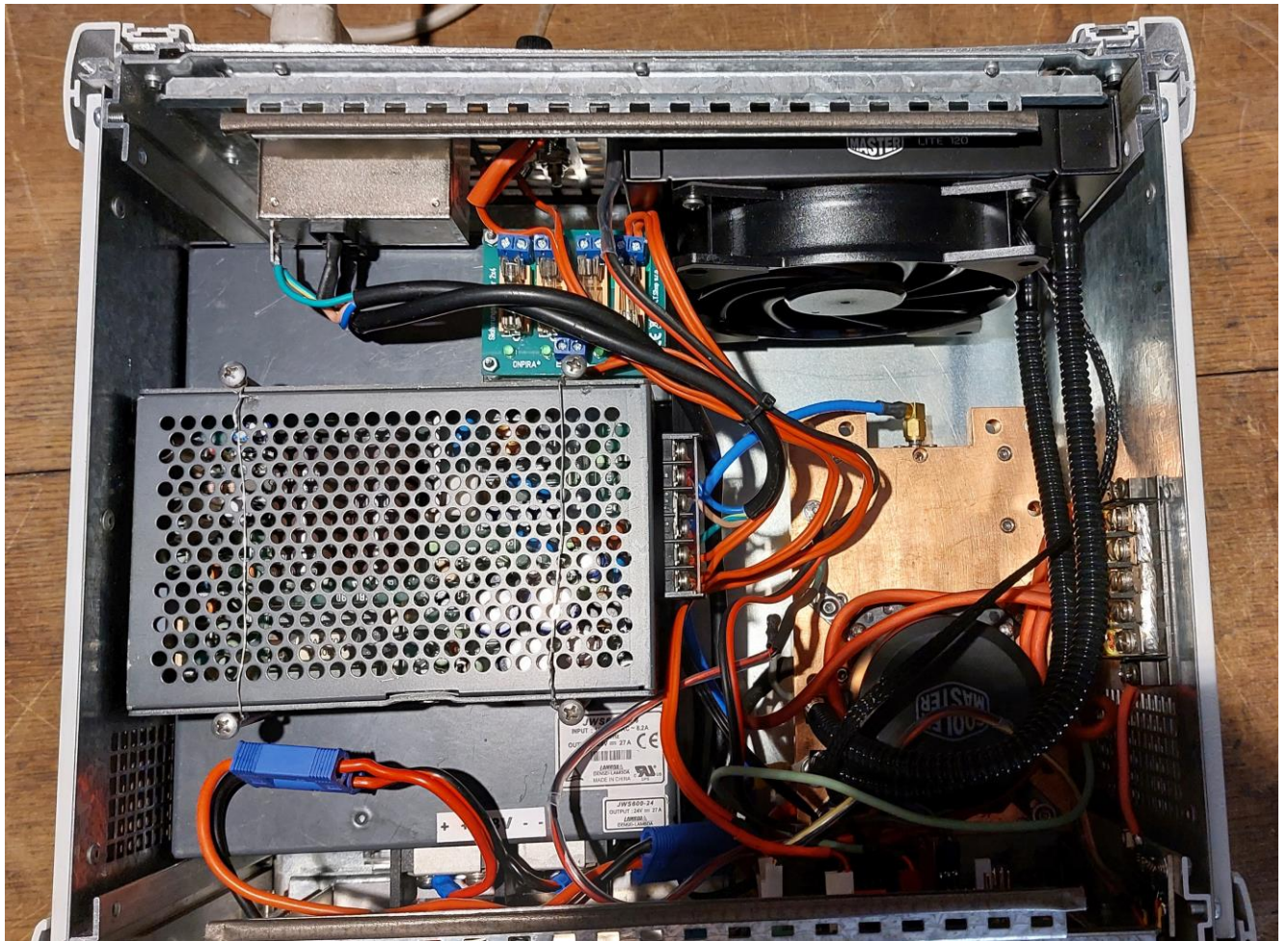
- 3 - 5 V Spannungsversorgung und I/O
- 2,5 mA Stromaufnahme
- 20 bis 80 % Luftfeuchtigkeit-Messbereich, mit 5 % Genauigkeit
- 0 bis 50° Temperatur-Messbereich, mit  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  Genauigkeit
- maximal 1 Hz Sampling Rate (1 x pro Sekunde)
- Abmessungen: 15,5 mm x 12 mm x 5,5 mm (ohne Pins)



DHT11 Pinbelegung:

1=+Vs=3.3V, 2=Daten, 3=Gnd



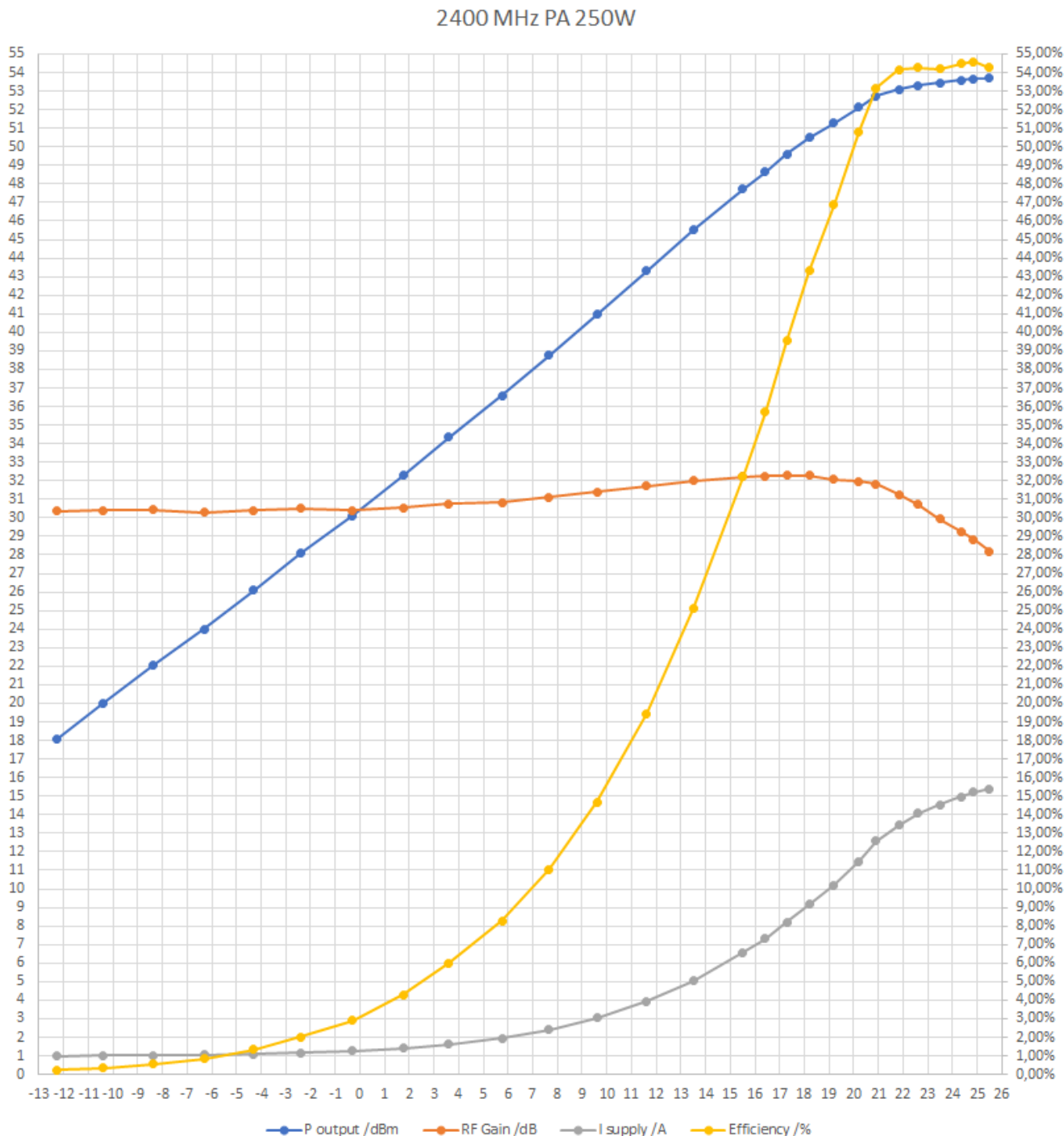






## Messungen an der fertigen PA

In der nachfolgenden Grafik sind Ausgangsleistung /dBm, Verstärkung /dB, Stromaufnahme /A und Wirkungsgrad /% als Funktion der Eingangsleistung /dBm aufgetragen. Alle Messungen wurden bei 2400MHz durchgeführt.



Die Endstufe hat eine Verstärkung von 30 bis 32dB. Die maximale Ausgangsleistung beträgt 53,7dBm = 234W (bei einer Eingangsleistung von 400mW und einer Stromaufnahme von 15,4A). Der Wirkungsgrad der Endstufe beträgt ab einer Ausgangsleistung von 160W über 50% (max. 54%). Die Verstärkung der Endstufe fällt zu niedrigeren Frequenzen ab. Sie ist optimal für den (DATV) Uplink Betrieb für QO-100 bei 2400MHz geeignet.

## Stresstest der fertigen PA

Abschließend wurde die Endstufe noch einem Stresstest unterzogen.

Dabei wurde sie auch für 15 Minuten Dauersendung bei maximaler Leistung getestet.

Zum Beginn des Tests betrug die Temperatur des Ampleon Moduls 40°C, nach 15-minütiger Dauersendung mit maximaler Leistung war sie auf 55°C angestiegen.

Die kleine Wasserkühlung hat also ihre Feuertaufe bestanden.

Die Temperatur im Endstufengehäuse war in der gleichen Zeit von 27°C auf 29°C angestiegen (bei einer Raumtemperatur von 26°C).



Ich möchte mich nochmals recht herzlich für die freundliche Unterstützung durch Ludwig Andes DK7UC, Stefan Reimann DG8FAC und Kurt Moraw DJ0ABR bedanken.