

2.4 GHz 6W PA für QO-100 mit 20dB Verstärkung

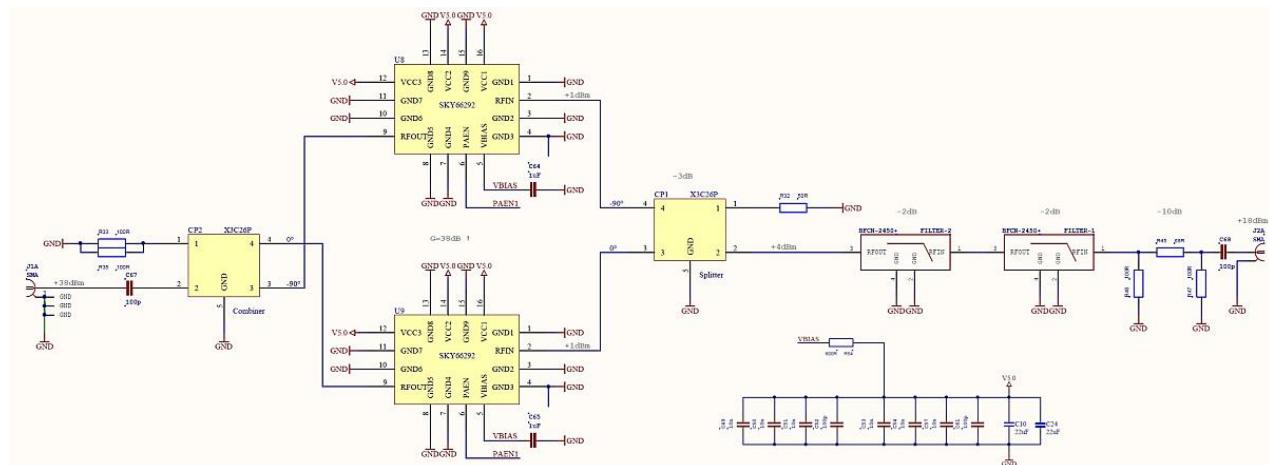
AMSAT-DL, Stefan DG8FAC und Matthias DD1US
16. März 2021

Es gibt diverse Konzepte für Leistungsverstärker für den geostationären Satelliten QO-100. Leider basieren viele Konzepte auf einer Versorgungsspannung von 28V mit einem sehr geringen Wirkungsgrad.

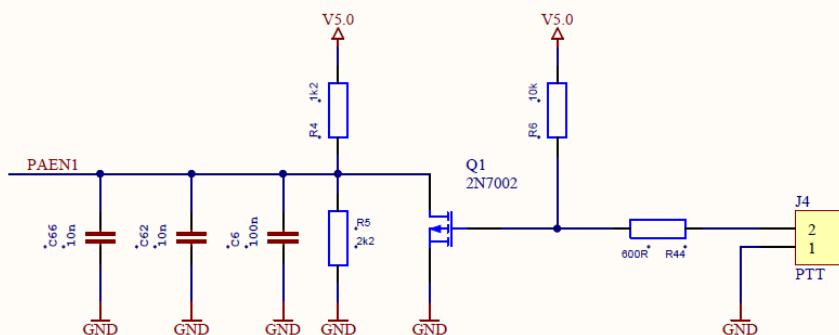
Das nachfolgende Design wurde von Stefan DG8FAC für den Betrieb über den Schmalbandtransponder von QO-100 entwickelt. Es ist für einen weiten Spannungsversorgungsbereich von 6 bis 15V mit einem hohen Gesamtwirkungsgrad optimiert. Dafür ist es auch insbesondere für portable Anwendungen geeignet.

Diese PA liefert eine Ausgangsleistung von 6W was auch bei kleinen Antennen für CW und SSB-Betrieb über QO-100 ausreichen sollte.

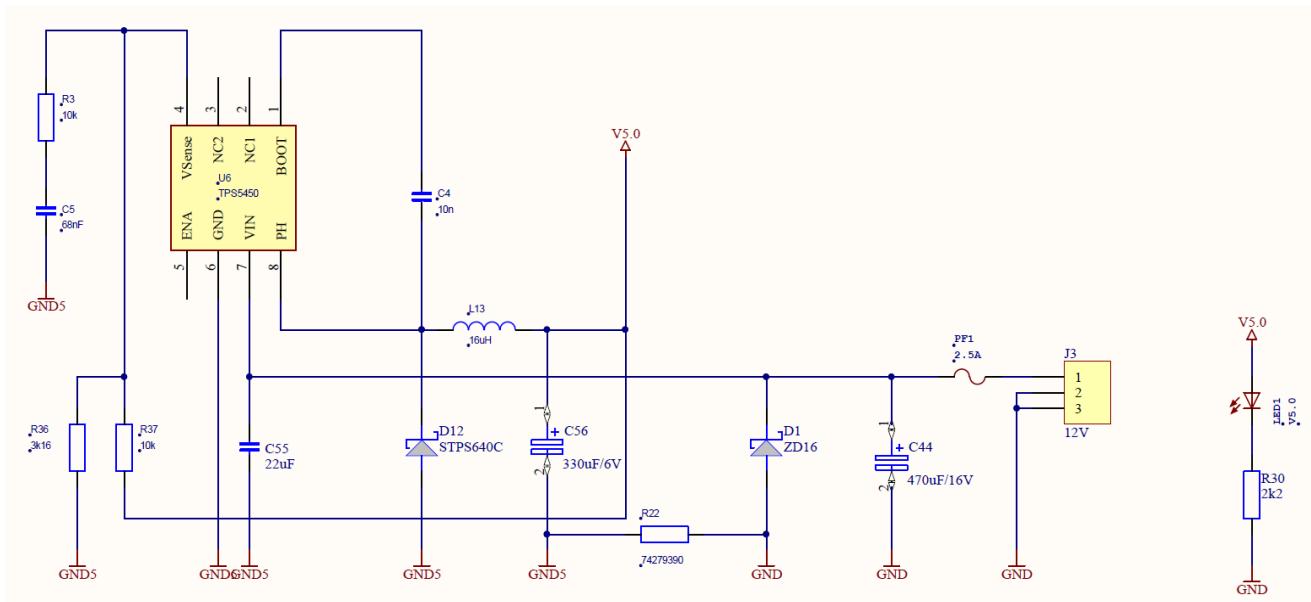
Nachfolgend finden Sie die Schaltbilder der PA:



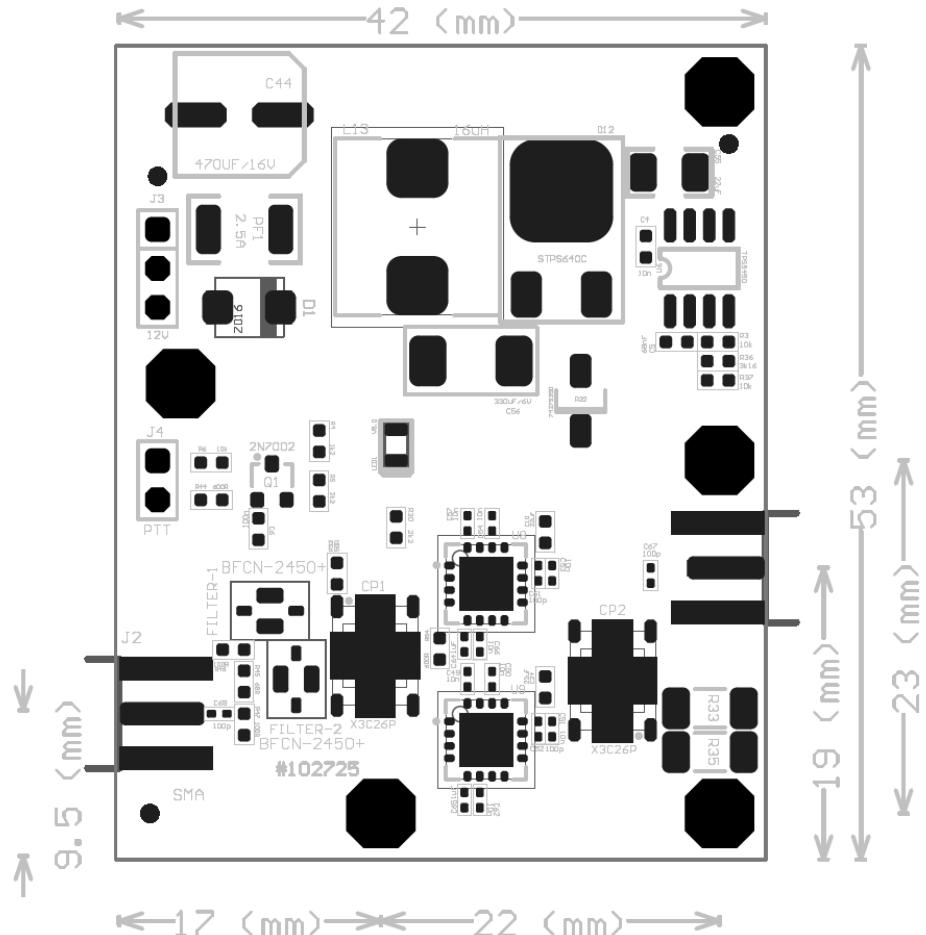
Das Eingangssignal (im Schaltbild rechts) wird zunächst in einem Dämpfungsglied um 10dB abgedämpft. Dieses Dämpfungsglied aus SMD-Widerständen kann je nach Applikation geändert werden. Danach werden unerwünschte Nebenaussendungen, beispielsweise von einem im Sender nicht optimal unterdrückten Lokaloszillator, durch 2 kaskadierte LTCC Bandpassfilter der Firma Mini-Circuits des Typs BFCN-2450+ unterdrückt. Anschliessend wird das Signal durch einen 90 Grad Hybridkoppler auf 2 Kleinleistungsverstärker der Firma Skyworks des Typs SKY66292 verteilt. Nachdem beide Teilsignal um ca. 38dB verstärkt wurden, werden sie wiederum in einem 90 Grad Hybridkoppler zusammengefasst und das Summensignal wird an der Ausgangsbuchse (im Schaltbild links) zur Verfügung gestellt. Beide Hybridkoppler des Typs GSC356-HYB2500 sind von der Firma Soshin.



Die PA bietet einen PTT Schalteingang. Der Ruhestrom im Empfang liegt bei <10mA. Wenn die PTT betätigt ist (active low) liegt der Ruhestrom der Endstufe bei ca. 70mA (@12V).

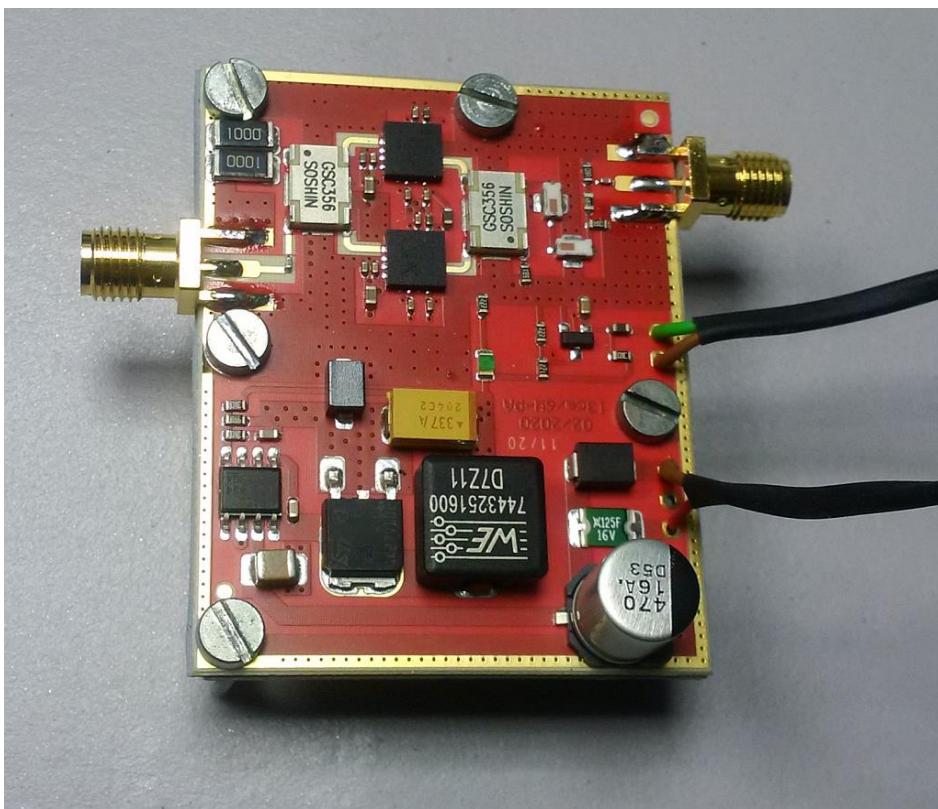
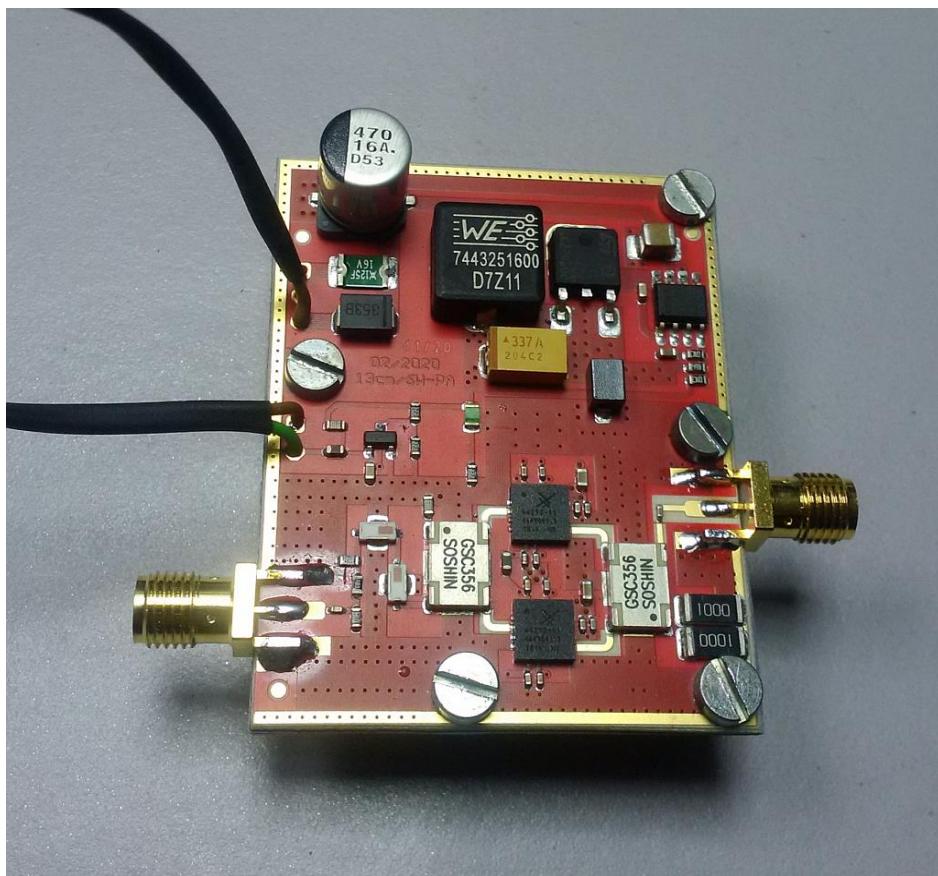


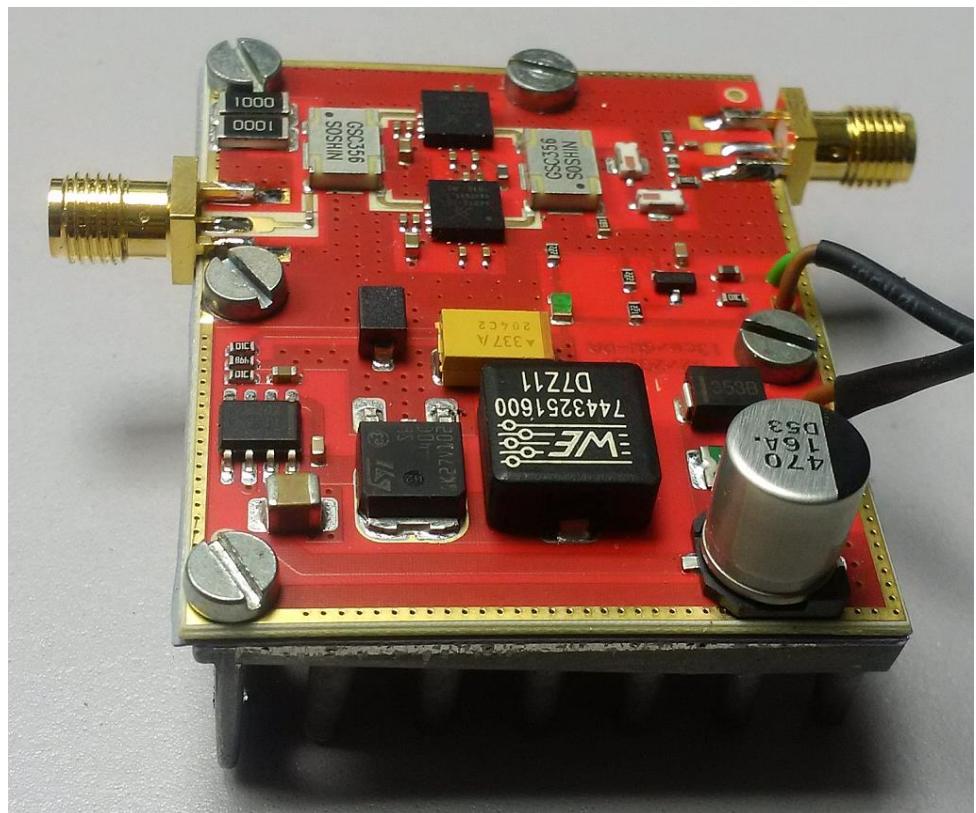
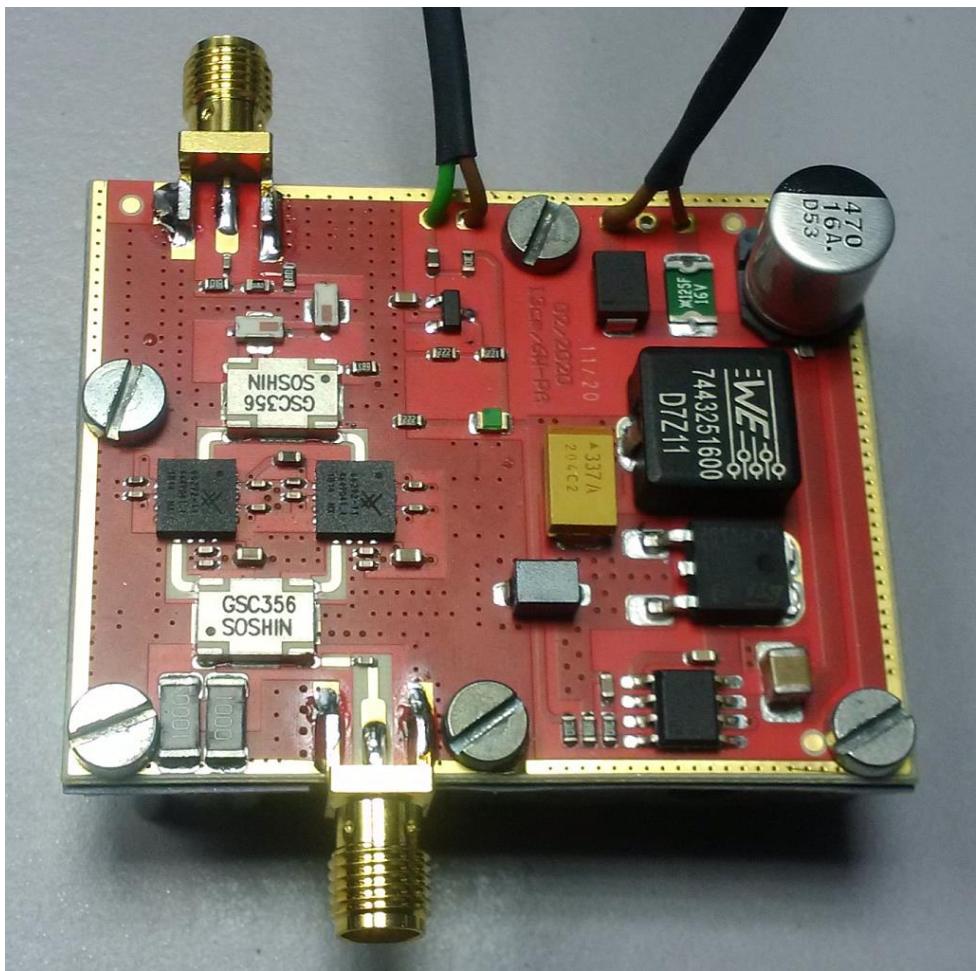
Um eine konstante Ausgangsleistung bei einem hohen Wirkungsgrad über einen weiten Versorgungsspannungsbereich von 6V bis 15V zu gewährleisten, ist in die PA eine kleines hocheffizientes Schaltnetzteil basierend auf einem TPS5450 der Firma Texas Instrument integriert. Die Verstärker selbst werden mit einer geregelten Versorgungsspannung von +5V betrieben.

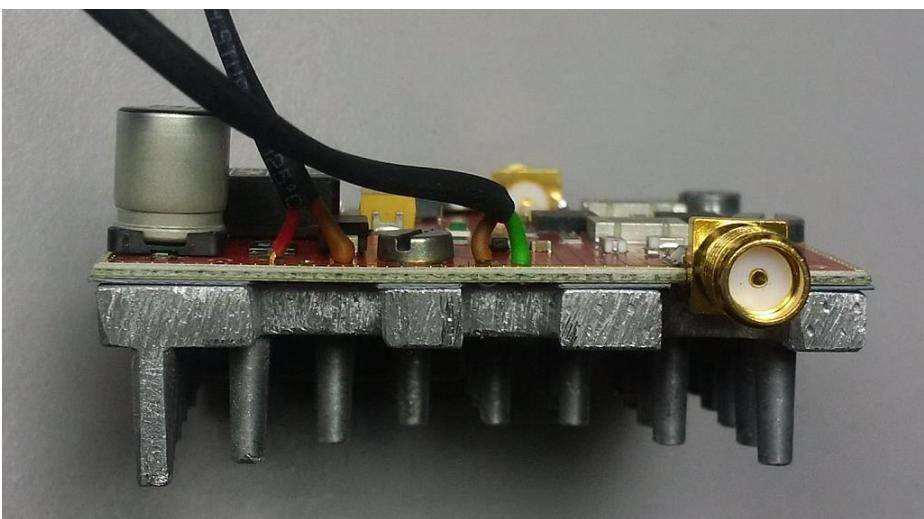
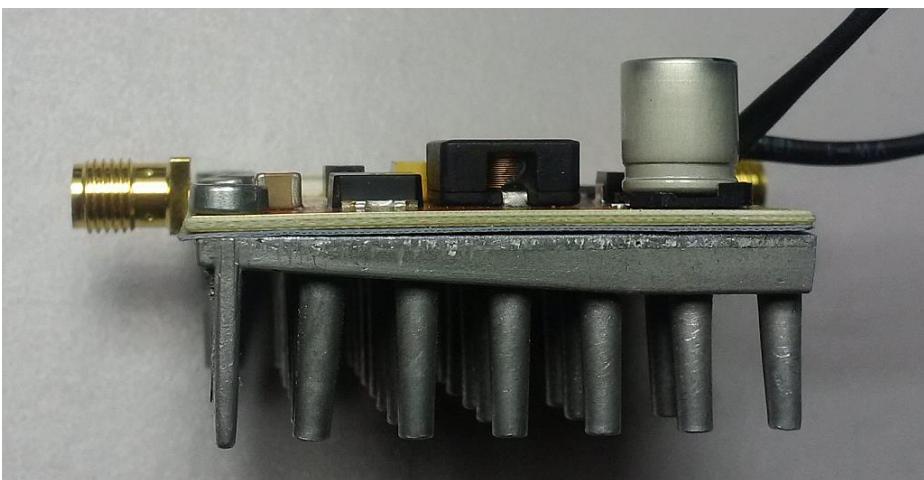
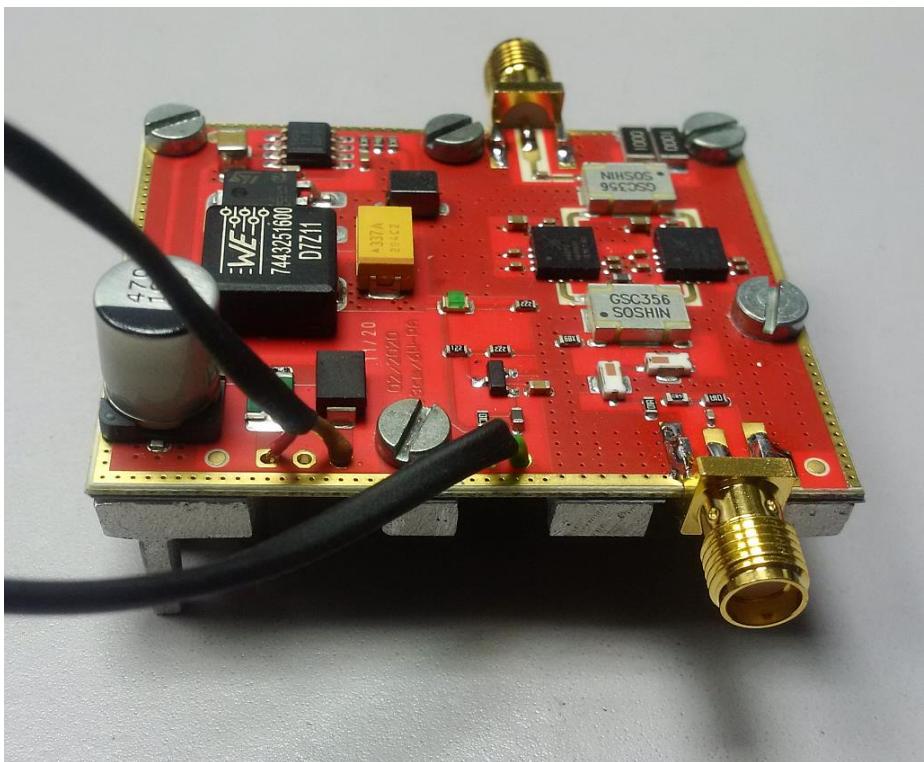


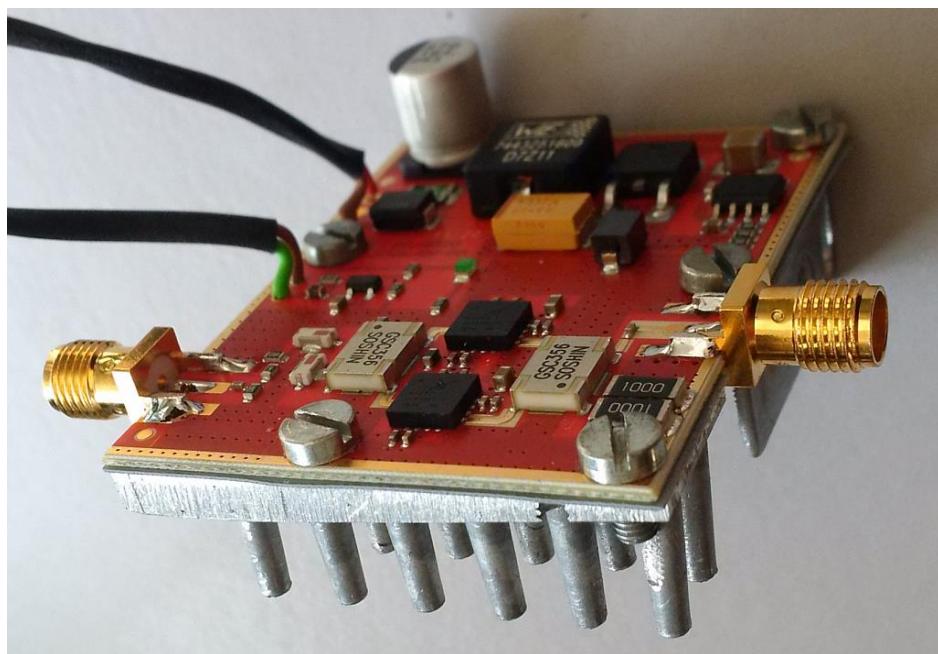
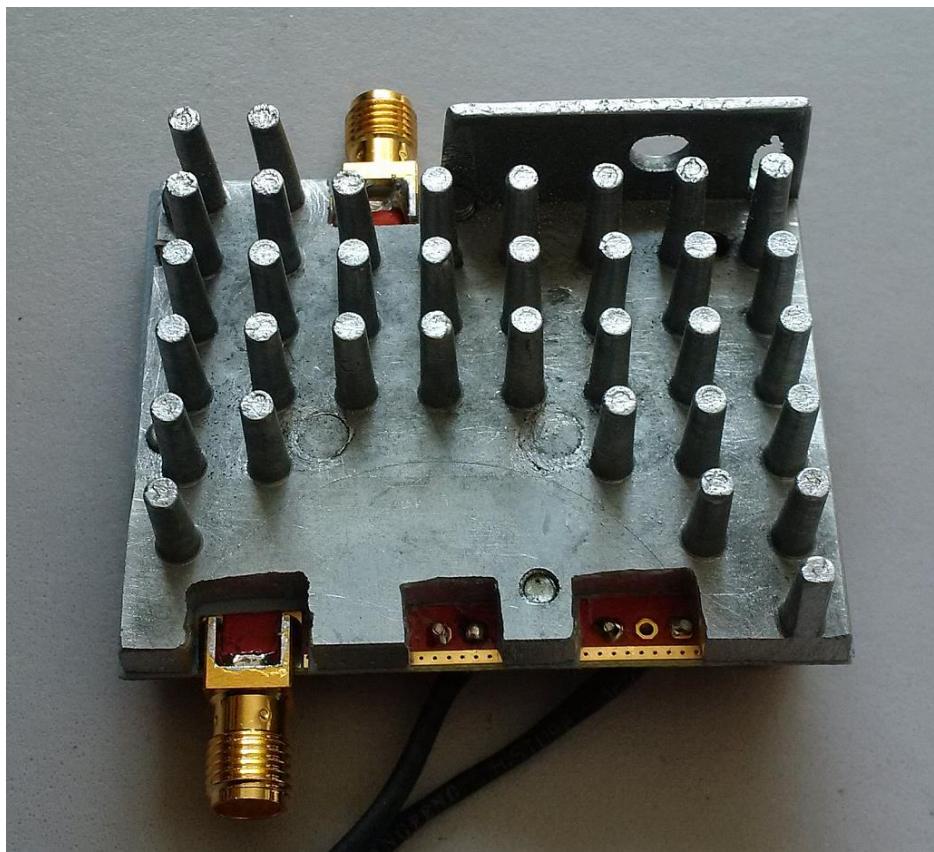
Die PA ist auf einer sehr kompakten Platine mit den Abmessungen 42mm x 53mm realisiert. Als Leiterplattenmaterial wird eine Kombination aus FR4- und Teflonsubstrat verwendet.

Alle SMD-Komponenten sind mittels einer professionellen Bestückungs- und Lötanlage bestückt. Der Einbau in ein Weißblechgehäuse zur Schirmung ist nicht zwingend erforderlich, wenn die PA ohnehin in ein Metallgehäuse eingebaut wird. Nachfolgend finden Sie einige Bilder der aufgebauten Platine:









Die erste Messung des Frequenzgangs des Verstärkers erfolgte im Modus „Peak Hold“ und der Messsender wurde von Hand durchgestimmt. Das nachfolgende Bild zeigt den relativen Frequenzgang (es waren noch Dämpfungsglieder in den Messaufbau eingefügt). Absolute Werte folgente später in diesem Bericht.



Die Markerfrequenzen und Pegel sind (von links nach rechts):

- | | | |
|-----|----------|--|
| M1: | 2161 MHz | -42.5dBm (tatsächlicher Wert ist niedriger, das Ergebnis ist durch die Dynamik des Messaufbaus begrenzt, spätere Messungen zeigen mindestens 60dB Unterdrückung) |
| M2: | 2264 MHz | -8.6dBm |
| M3: | 2400 MHz | -4.6dBm |
| M4: | 2588 MHz | -9.0 dBm |

In einer weiteren Messung wurde die absolute Verstärkung des Verstärkers mittels des im Spektrumanalyzer eingebauten Trackinggenerator gemessen. Der Aufbau wurde zunächst normalisiert, dann der Verstärker mit einem 30dB Dämpfungsglied am Ausgang eingefügt. Der Pegel des Trackinggenerators wurde auf 0dBm eingestellt.

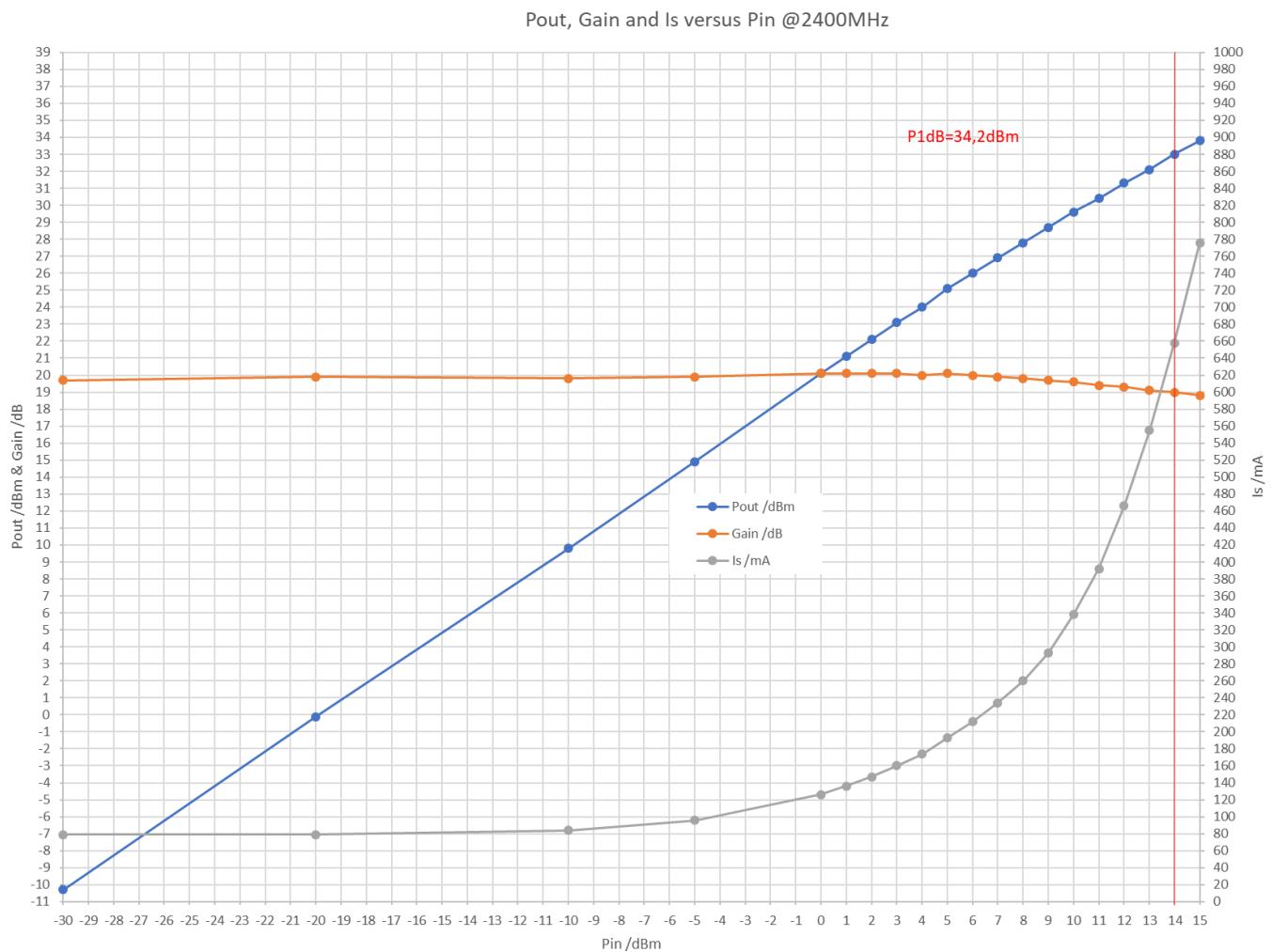


Hier einige grob ermittelte Verstärkungswerte als Funktion der Frequenz:

Frequenz	Verstärkung unkorrigiert	Verstärkung korrigiert
1500 MHz	-70 dB	-40dB
2000 MHz	-70 dB	-40 dB
2100 MHz	-70 dB	-40 dB
2200 MHz	-40 dB	-10 dB
2300 MHz	-13 dB	+17dB
2400 MHz	-11 dB	+19 dB
2500 MHz	-11,5dB	-18,5dB
2600 MHz	-15 dB	+15 dB
3000 MHz	-43 dB	-13 dB

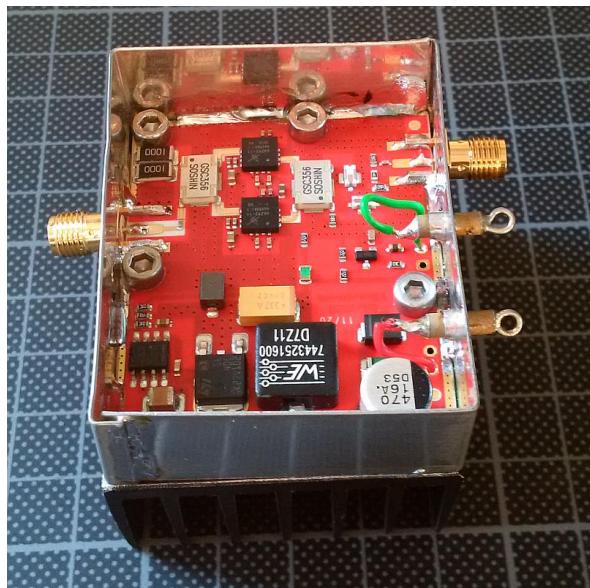
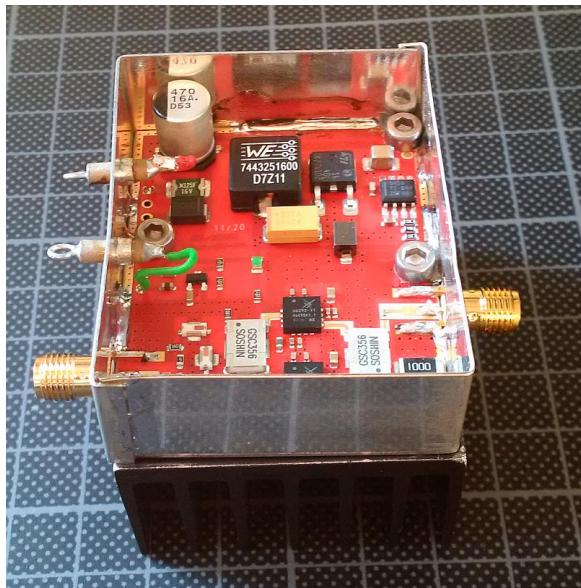
Wie zu sehen ist, funktionieren die Eingangsfilter ausgezeichnet. Bei einem Sendekonzept mit einer Sende-ZF von 435 MHz liegt der Lokaloszillatior bei 1965 MHz. Ein möglicher Durchschlag des Lokaloszillators im Sender wird also mit mindestens 60dB unterdrückt.

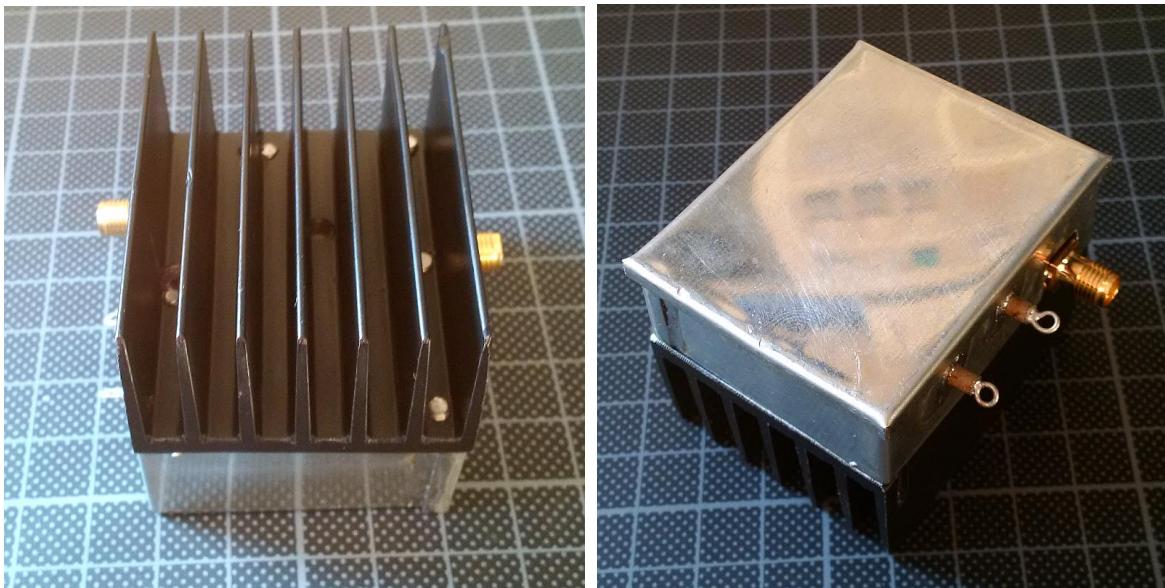
Hier eine Messung der Ausgangsleistung und der Verstärkung dieses 1. Exemplars als Funktion der Eingangsleistung. Da der Messender maximal +15dBm liefert, konnte nur der P_{1dB} mit 33dBm = 2W ermittelt werden, nicht jedoch die maximale Ausgangsleistung. Die lineare Verstärkung liegt bei 20dB. Bei 2.4W Ausgangsleistung wurde eine Drain-Efficiency von 26% ermittelt.



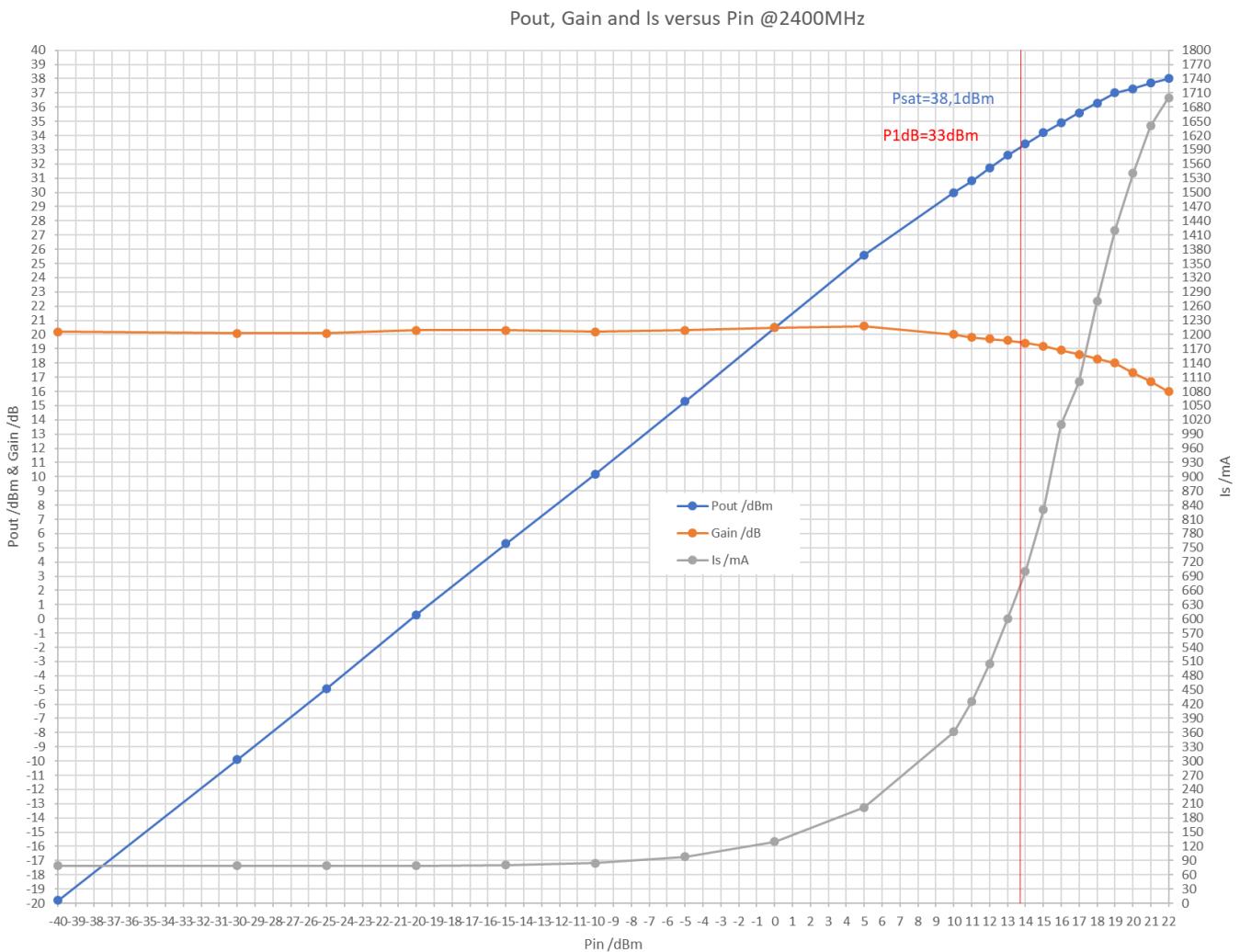
Es wurde eine 2. PA auf einen grösseren Kühlkörper und diesmal in ein geschirmtes Gehäuse eingebaut.

Hier einige Bilder des 2. Aufbaus:





Hier eine Messung von Verstärkung und Ausgangsleistung des 2. Exemplars als Funktion der Eingangsleistung.



Die lineare Verstärkung liegt bei 20,3dB. Der 1dB-Kompressionspunkt liegt bei 33dBm = 2W. Die Sättigungsleistung liegt bei 38,1dBm = 6,5W. Die Drain-Efficiency liegt beim P1dB bei 26% und erreicht bei der Sättigungsleistung 31%. Beide Aufbauten zeigen also ein annähernd identisches Verhalten.