

Neuer 6cm – Transverter bei DL0GTH

1/2009
1/2014

R04003-05

JAPAN
5964
-8C
CU

T
TIM5964-30SL
5C2H 63

Einleitung

Entstehungsgeschichte



Erfolgreiche Teilnahme am UKW – Contestpokal heißt für DL0GTH, QRV zu sein von 144MHz bis 122GHz.

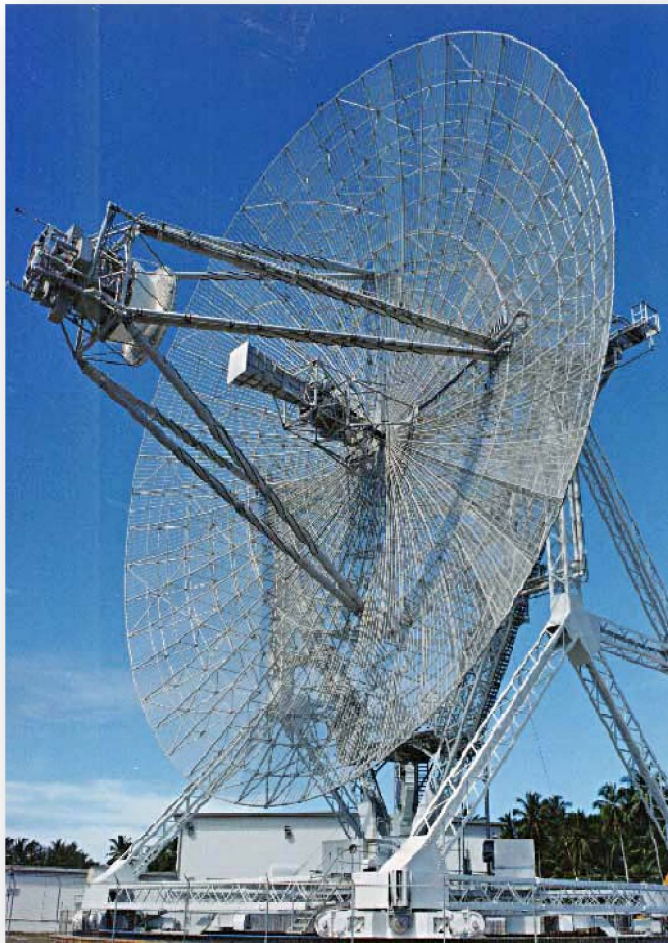
Dazu gehören auch die eher ungeliebten „Zwischenfrequenzen“ 9cm und 6cm, Bänder, auf denen selbst von Top – Stationen nur 30 – 40 QSOs pro Contest gefahren werden.

Im Rahmen der kontinuierlichen Verbesserung der Station stand eine Erneuerung der bewährten 6cm – Transvertertechnik von Roland, DK4RC, an.

Um den Aufwand vertretbar zu halten, haben wir den Selbstbau wesentlicher Komponenten vorgesehen.

Aufgabenstellung

Eckpunkte des geplanten Systems



Quelle: [1]

Es darf gerne ein bisschen mehr sein:

- **Output** ca. 50W
- **Eingangsräuschzahl** ca. 1dB
- **Neuer Parabolspiegel** ca. 1m
- **Neuer Erreger**
- **Stromversorgung:** 13.8V DC
- **Frequenz durch GPS – stabilisiert**
- **Wetterfestes Gehäuse**
- **Übermittlung aller Betriebsparameter durch Telemetrie**

Aufgabenstellung

Herausforderung 6cm - Band



Es gibt dafür sehr wohl Fertiglösungen aus Komponenten, auch für höhere Leistungen, aber:

- **Sehr schlechtes Aufwand- / Nutzenverhältnis**
(> 2.000€ Materialaufwand für ca. 30 QSOs)

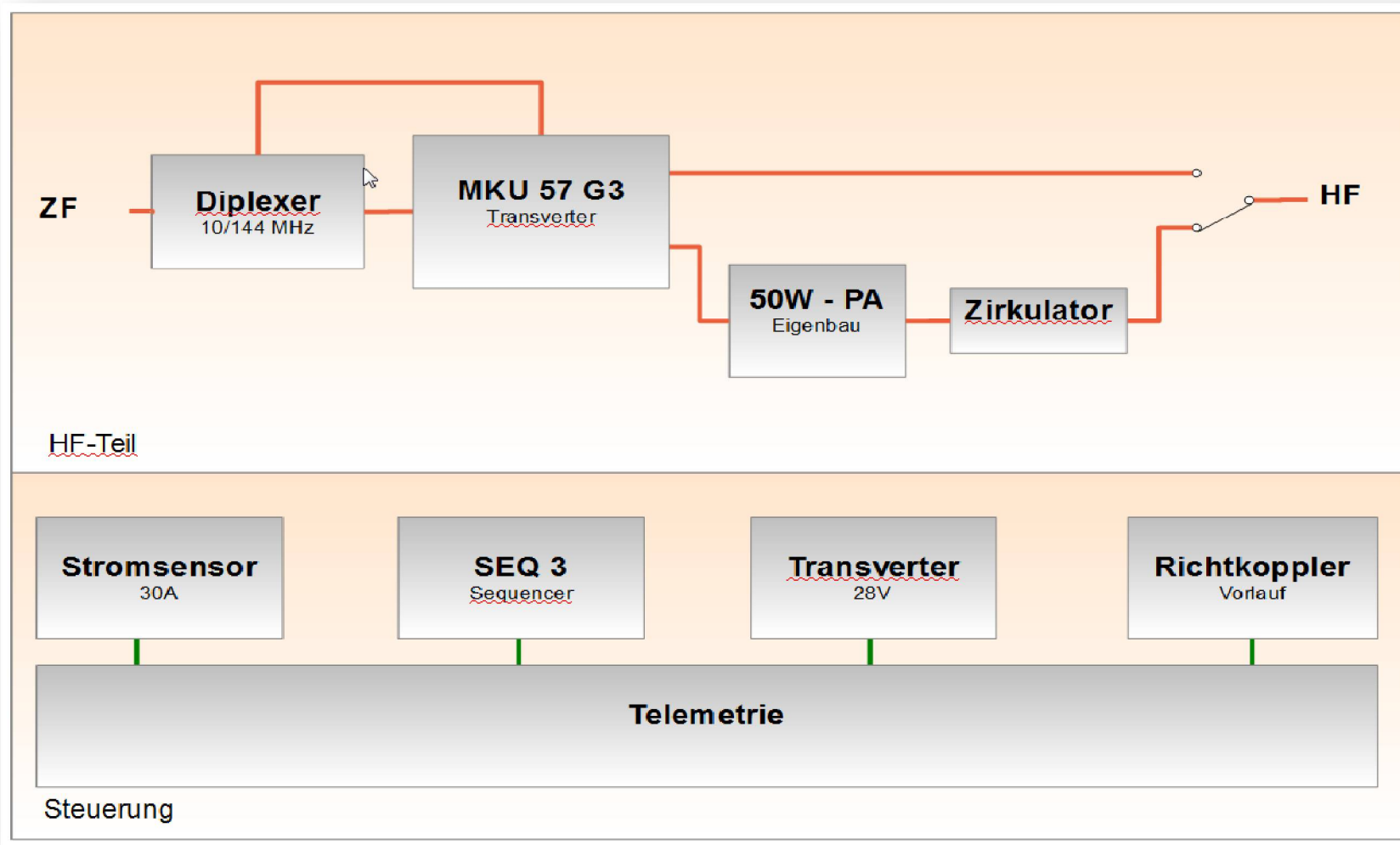
Ein Eigenbau wäre preiswerter machbar, aber:

- **Kaum Surplus – Komponenten im Bereich um 50W**
- **Einzelne Halbleiterbauelemente am Markt kaum verfügbar**
- **Für GaN – Verstärker fehlt uns die Erfahrung**

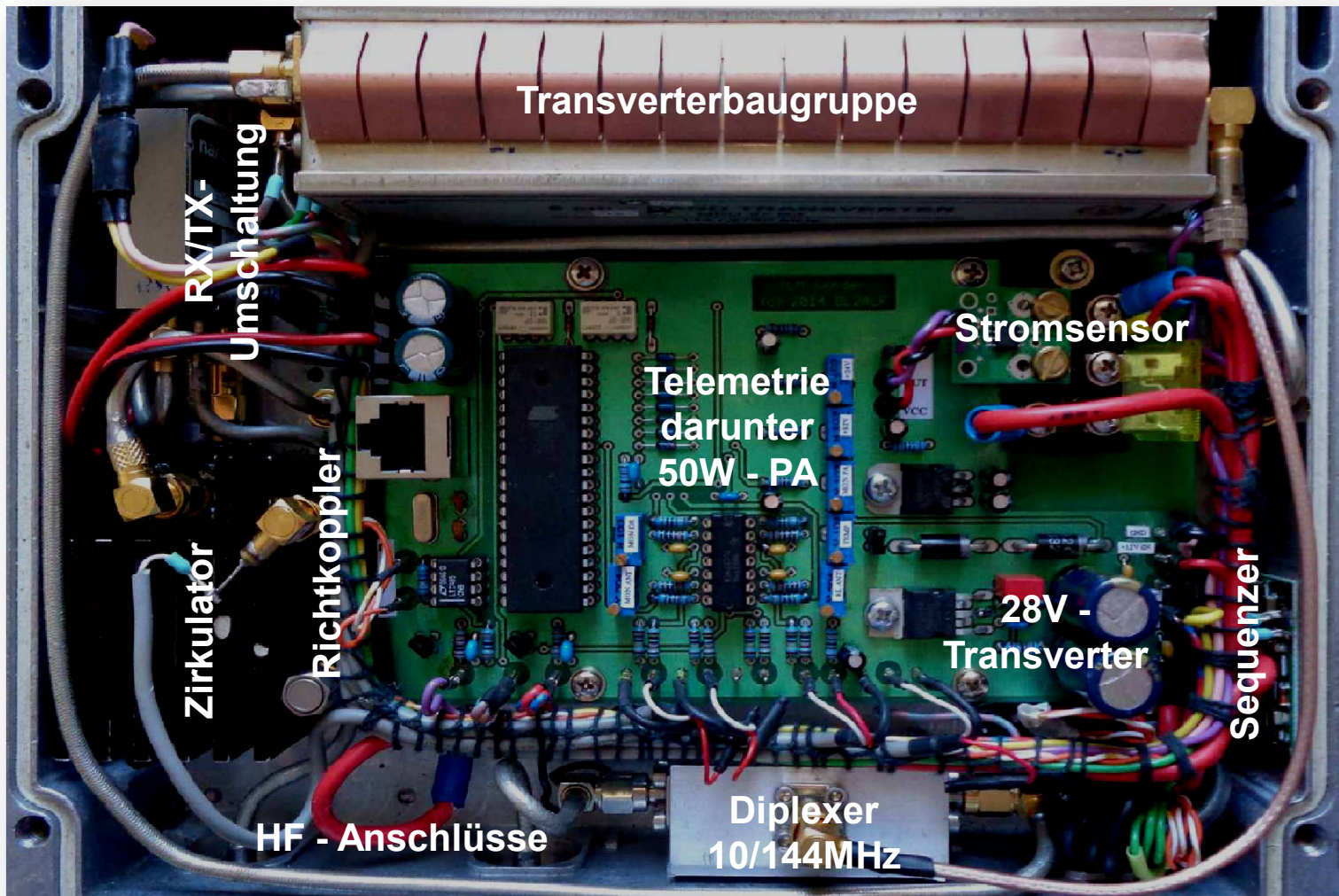
Wir haben uns letztlich für eine gemischte Lösung mit einer konventionellen Eigenbau – PA entschieden.

Aufgabenstellung

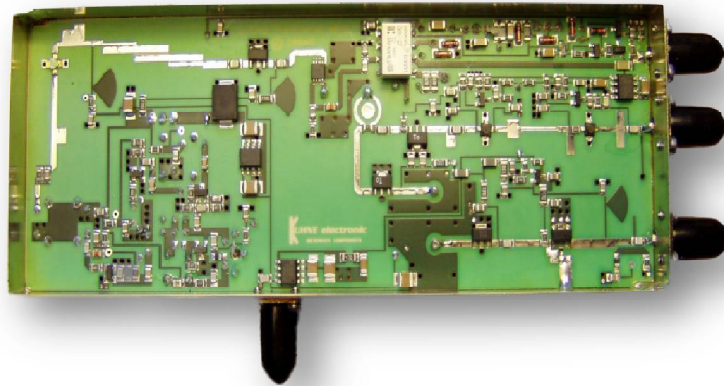
Blockschaltbild



Aufbau Übersicht



Aufbau Transverter



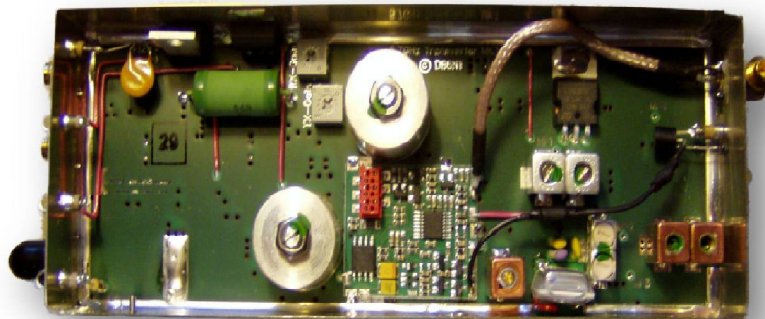
Herzstück des Umsetzers ist ein bewährtes Transvertermodul MKU 57 G3 von [3].

Dieser liefert bereits ausgezeichnete technische Daten:

- Ausgangsleistung ca. 250mW
- Rauschzahl ca. 1,0dB

Zusammen mit dem externen 10MHz – Referenzeingang steht ein optimales Gesamtpaket zur Verfügung.

Das PLL – Modul wurde noch um einen zusätzlichen Meldeausgang für die Telemetrie erweitert. Außerdem musste der 10MHz – Eingang wegen Platzmangels an die Stirnseite verlegt werden.



Aufbau

Leistungsendstufe: Konzept



Der entscheidende Anstoß für den Selbstbau der PA kam aus dem Internet [2].

Auf der Homepage von F6BVA sind detaillierte Bauanleitungen für verschiedene Leistungsklassen veröffentlicht.

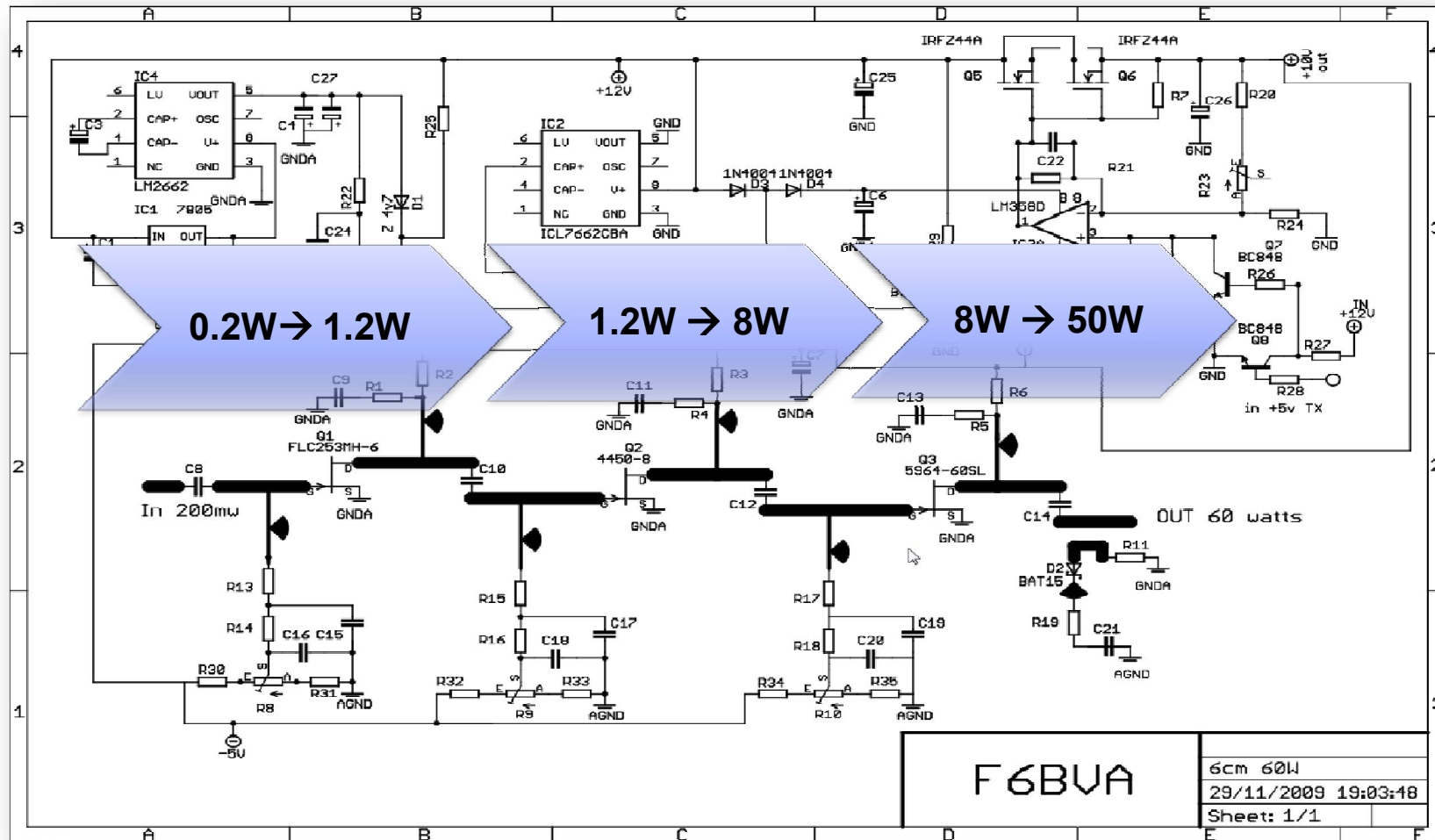
Dazu gehören:

- Schaltplan
- Stücklisten
- Leiterplatten – Layout
- Bohr- und Fräsplan

Wir haben uns für die 3stufige 60W – Variante der 6cm - PA entschieden, die wir nur leicht modifiziert haben.

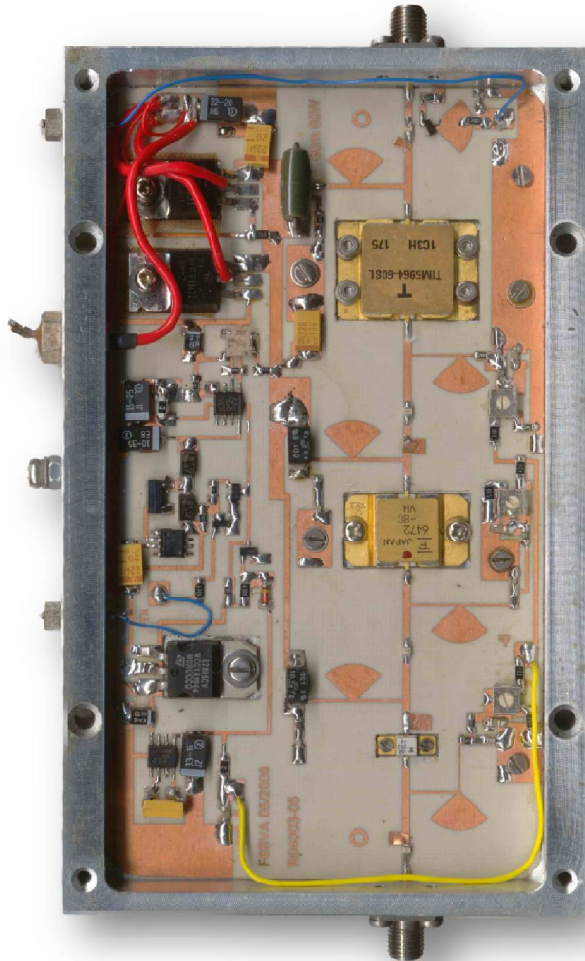
Aufbau

Leistungsendstufe: Schaltung



Aufbau

Leistungsendstufe: Platinenlayout (1)



Die Platine erschien uns mit amateurmäßigen Mitteln herstellbar. Als Problem erwies sich aber das Substrat RO-4003-05, fotobeschichtet in DL kaum zu bekommen.

Letztlich haben wir uns dann doch für einen professionellen Hersteller entschieden [4].

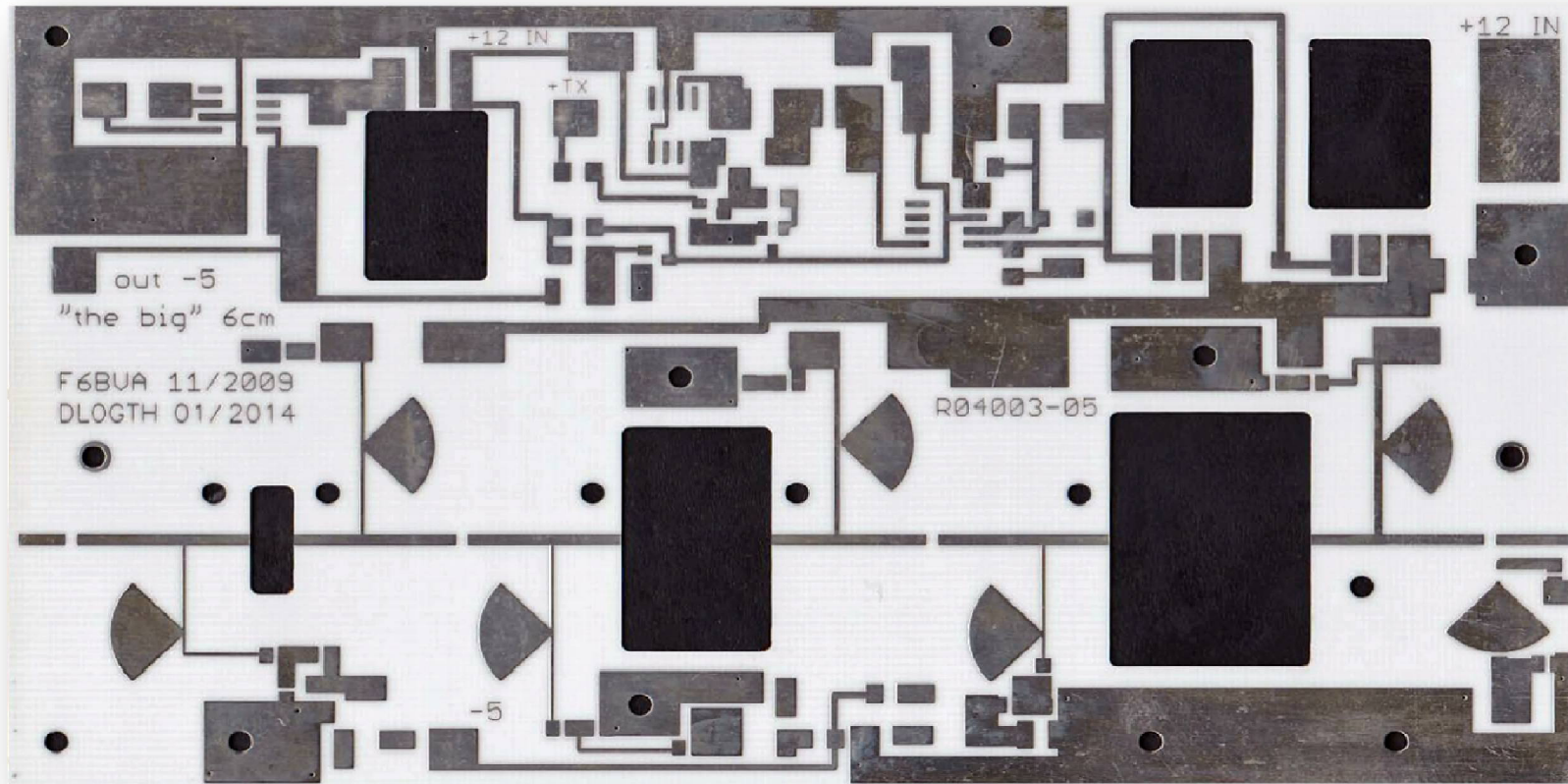
Dazu haben wir die Gerberdaten von der Homepage verwendet und mittels Software modifiziert :

- Zusätzliche Durchkontaktierungen
- Zusätzliche Masseverbindungen
- Maße für den ersten Transistor angepasst

Die nach zwei Wochen gelieferten Platinen genügen höchsten Ansprüchen, und das zu einem akzeptablen Preis (ca. 25€ / Stück).

Aufbau

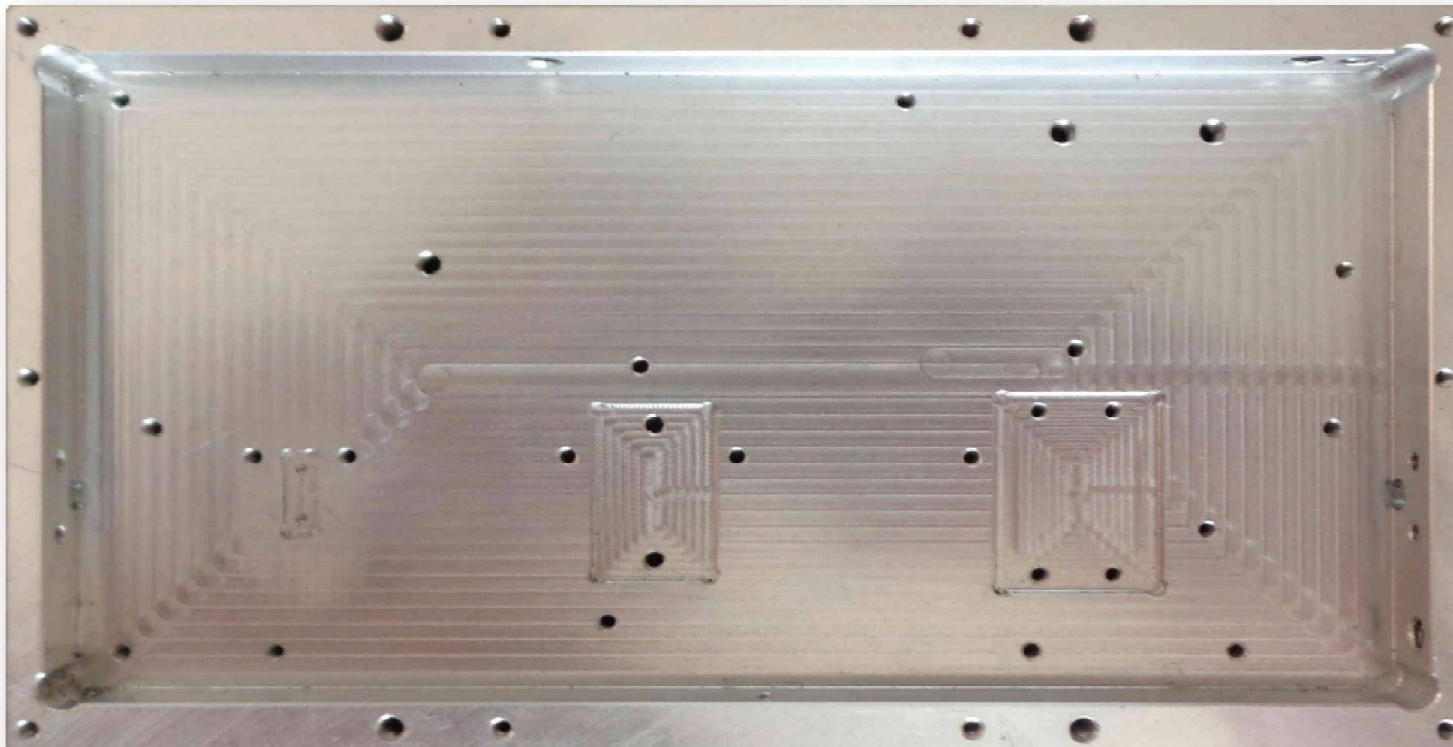
Leistungsendstufe: Platinenlayout (2)



Die in den Gerberdaten enthaltenen Bohrungen und Durchbrüche sind bereits bei der Herstellung der Platine mit ausgeführt worden.

Aufbau

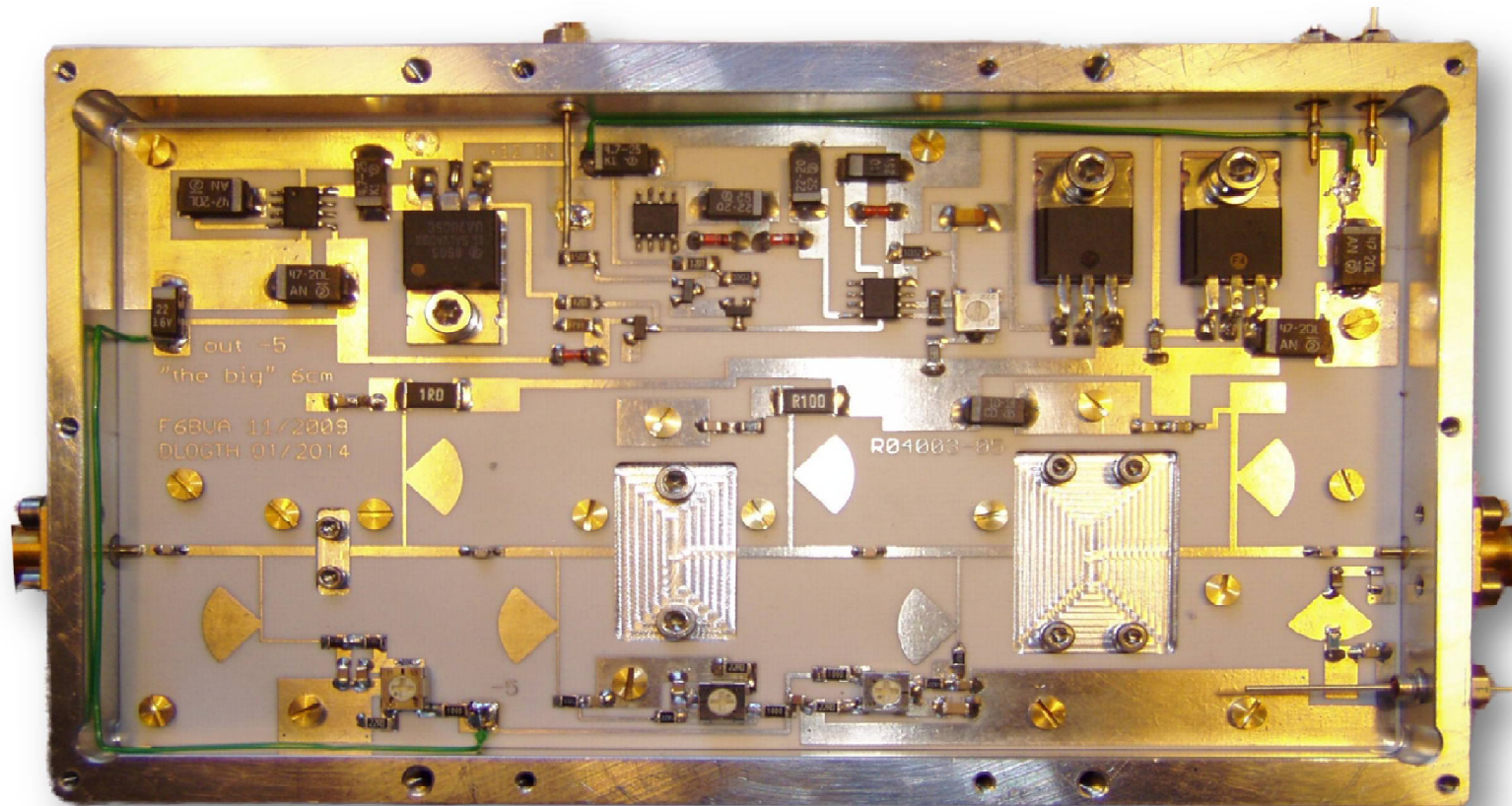
Leistungsendstufe: Gehäuse



Die erforderliche Mechanik für das Gehäuse haben wir der ausführlichen Beschreibung von F6BVA entnommen. Die Aussparungen für die Transistoren haben wir auf unsere Verhältnisse angepasst, hier kommt es auf jeden 1/10 – Millimeter an. Hergestellt wurden sie in gewohnt professioneller Weise auf einer CNC – Maschine (tnx DL1AOB).

Aufbau

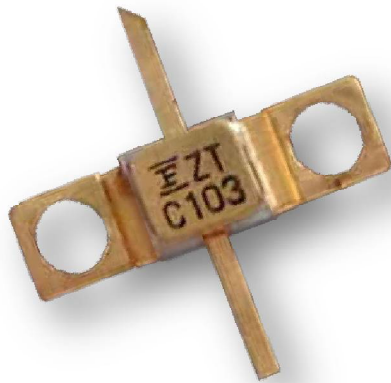
Leistungsendstufe: Platine einkleben



Die bis auf die Halbleiter fertiggestellte Platine wurde mit Silberleitkleber von [8] in das Gehäuse eingebracht und bei ca. 90Grad „gebacken“.

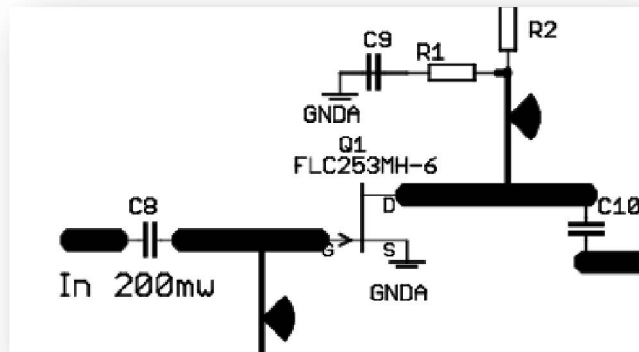
Aufbau

Leistungsendstufe: Halbleiter 1.Stufe



Der in den meisten Schaltungsentwürfen verwendete FLC253MH-6 von Fujitsu war nicht mehr beschaffbar. Als Ersatz kam ein neuwertiger FLC103WG des gleichen Herstellers zum Einsatz.

Dieser intern nicht angepasste Typ mit höherer Transitfrequenz erwies sich als wesentlich „giftiger“ im Abgleich. Eine mechanische Herausforderung waren die notwendigen Befestigungslöcher (M 1.5).

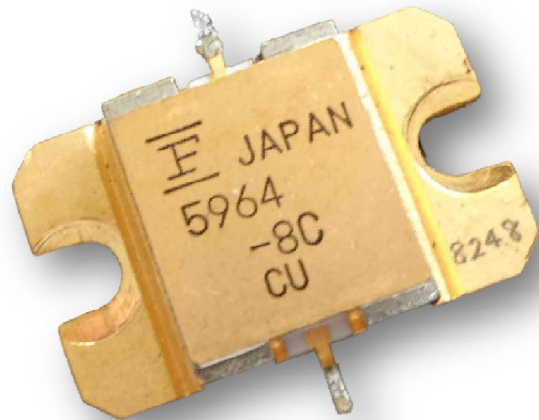


Technische Daten gemessen bei 8GHz:

- Eingangsleistung 23dBm (200mW)
- Ausgangsleistung 30,5dBm (1,1W)
- Leistungsverstärkung 7,56dB (6fach)

Aufbau

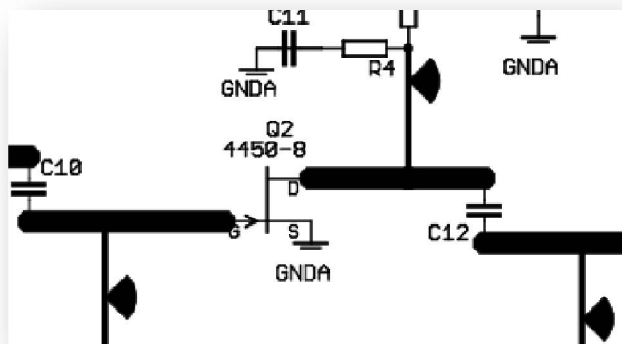
Leistungsendstufe: Halbleiter 2.Stufe



Für die zweite Stufe gab es reichlich Alternativen aus den diversen Surplus – Beständen.

Zur Verfügung standen TIM5964-8 von Toshiba oder FLM5964-8 von Fujitsu.

Diese bereits intern angepassten Typen liegen in ihrer Arbeitsfrequenz nur unwesentlich höher und benötigen wenig Abgleichaufwand.

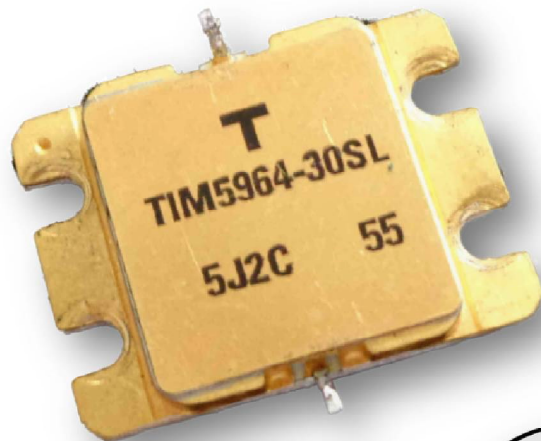


Technische Daten aus dem Datenblatt
(hochgerechnet für 5,7 GHz):

- Eingangsleistung 31dBm (1,3W)
- Ausgangsleistung 38dBm (6,3W)
- Leistungsverstärkung 7dB (5fach)

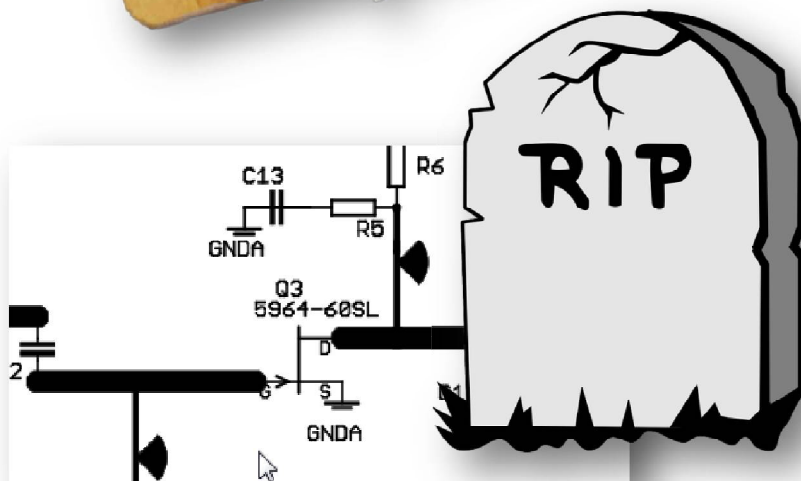
Aufbau

Leistungsendstufe: Halbleiter 3.Stufe



Für die dritte Stufe hatten wir ursprünglich zwei Varianten aus Surplus – Beständen geplant (tnx DF9QY).

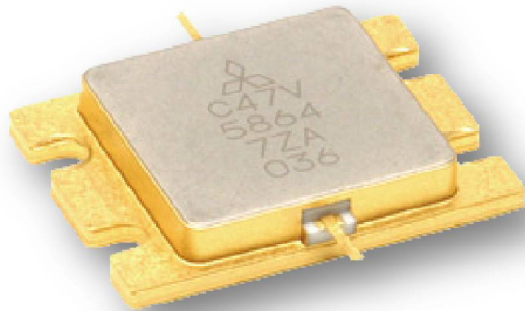
Die für die „Light“ – Variante zum Üben vorgesehenen TIM5964-30 von Toshiba sind durch fehlerhaften Abgleich sehr schnell gestorben. Offensichtlich haben wir sie durch zu große Eingangsleistung überfahren.



Die für die „große“ Variante vorgesehenen TIM5964-60 von Toshiba waren entweder bereits vorgeschädigt oder haben den Einbau mit nachfolgendem Abgleich nicht überlebt.

Aufbau

Leistungsendstufe: Halbleiter 3.Stufe

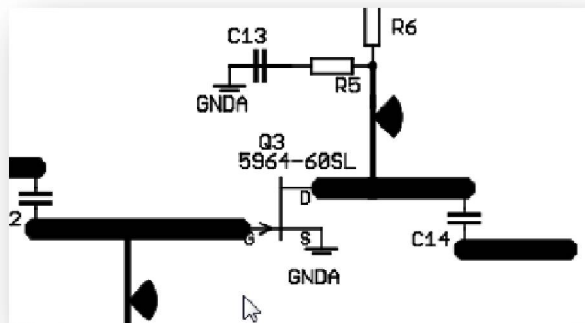


Symbolbild, Quelle: [7]

So musste doch ein laden neuer MGFC47V5864 von Mitsubishi her (tnx DK6JL).

Eine ungeplante Investition dieser Größenordnung stellt das Aufwand / Nutzen – Verhältnis wieder in Frage. Aber nun waren wir einmal bis hierher gekommen.

Dieser Transistor ließ sich dann problemlos verbauen und liefert auch 50W nach Datenblatt. Er ist ebenfalls bereits intern angepasst.



Technische Daten gemessen bei 5.8GHz:

- Eingangsleistung 38dBm (6,3W)
- Ausgangsleistung 47dBm (50W)
- Leistungsverstärkung 8,9dB (7,8fach)

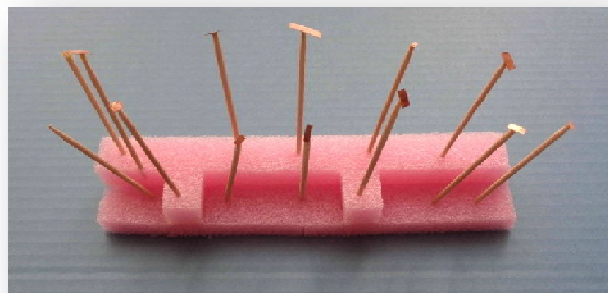
Aufbau

Leistungsendstufe: Abgleich (1)



Der Abgleich der Endstufe erwies sich als größter „Knackpunkt“ beim Aufbau. Vor allem die erste Stufe war außerordentlich problematisch.

Der erste Versuch bestand darin, aus dem Transverterausgang ein Kleinsignal auf 6cm zu erzeugen und in die PA einzuspeisen. Mittels Leistungsmesser am Ausgang der PA sollte die Anpassung stufenweise kontrolliert und optimiert werden. Das ist uns nicht zufriedenstellend gelungen, was möglicherweise an der mangelnden Erfahrung lag.



Für uns als „HF“ – Laien ging es nicht ohne einen Netzwerkanalysator weiter.

Da uns ein solches Gerät nicht zur Verfügung stand, waren wir mehrfach auf Leihgeräte angewiesen.

Aufbau

Leistungsendstufe: Abgleich (2)



Auch mit einem Netzwerkanalysator war es nicht einfach. Nach der Auswahl des passenden Föhnchens wurde dieses angelötet und mit Sekundenkleber fixiert. Dadurch hat sich mitunter der Abgleich wieder verschoben.

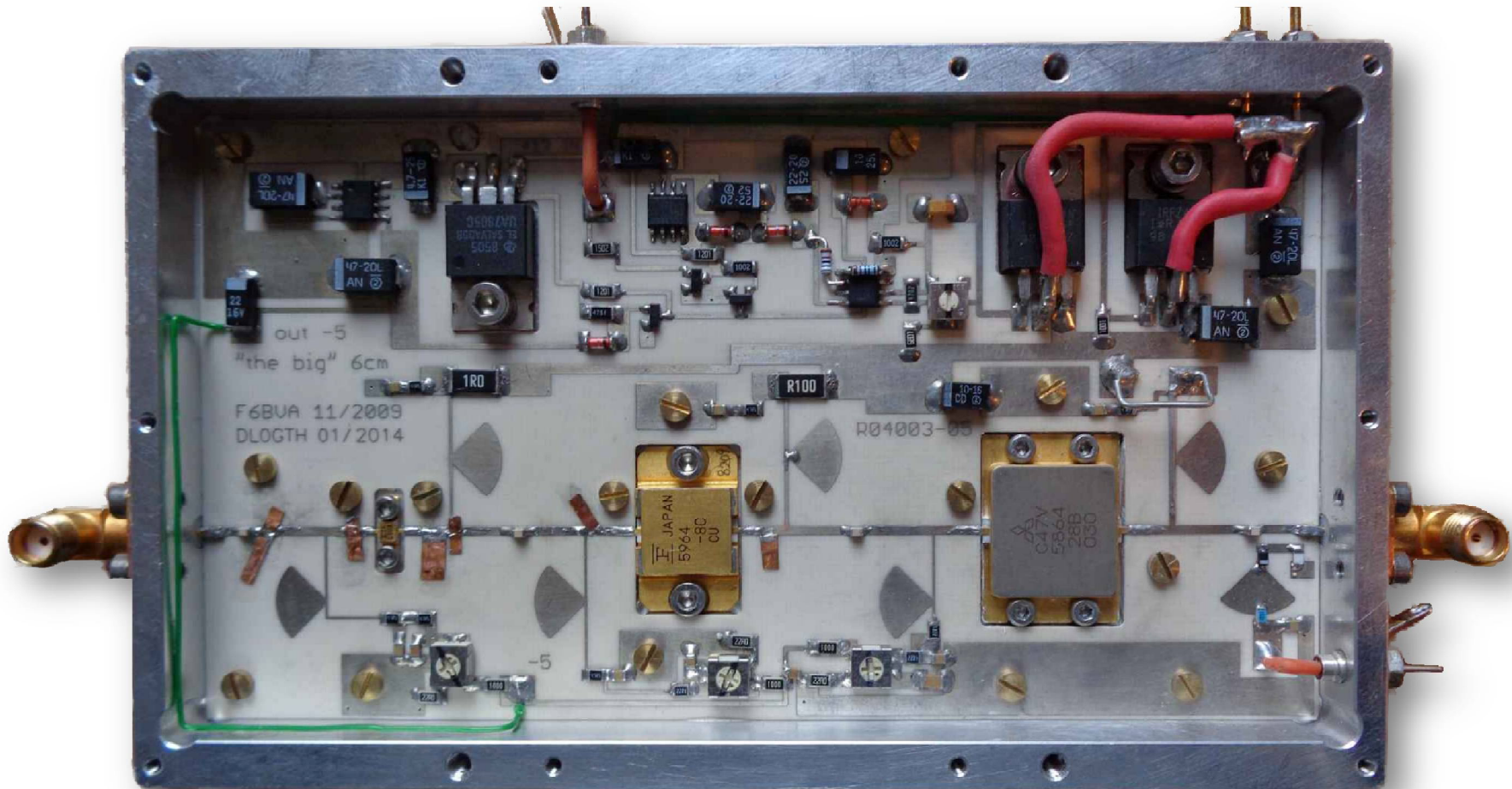
Auch das (gut gemeinte) anschließende Reinigen der Platine mit Lösungsmittel sollte man tunlichst unterlassen.

Die beiden hinteren Stufen dagegen haben keine Probleme bereitet, da schon bereits vorangepasst.

Am Ende aller Mühen standen dann doch etwa 48W an Ausgangsleistung zur Verfügung, unter Idealbedingungen am Abschlusswiderstand. Ein Wert, den wir in der Praxis nicht ganz halten konnten.

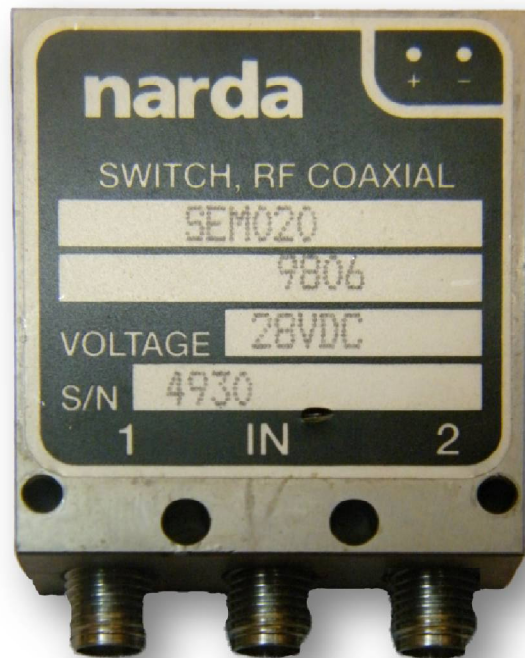
Aufbau

Leistungsendstufe: Fertig!



Aufbau

Antennenrelais



Die in großer Zahl verfügbaren SMA – Relais verschiedenster Hersteller sind leider nicht für die geplante Ausgangsleistung von 50W geeignet. An dieser kritischen Stelle im Transverter verbietet sich aber jedes Risiko.

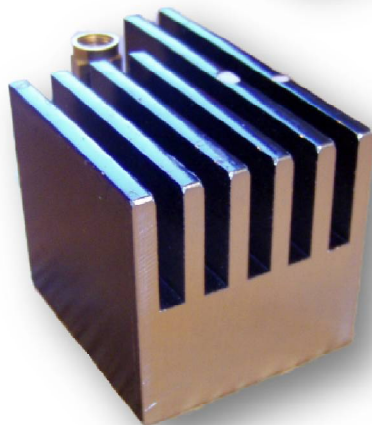
Erst nach längerer Suche fanden sich zwei passende, gebrauchte Exemplare des Typs Narda SEM020 auf ebay (Stückpreis ca. 35€).

Technische Daten bei 5.7GHz:

- | | |
|-------------------------|---------|
| • Einfügedämpfung | < 0.3dB |
| • VSWR | < 1.3 |
| • Isolation | > 70dB |
| • Übertragbare Leistung | 80W |
| • Schaltspiele | > 1 Mio |

Aufbau

Zirkulator



Dem Schutz des teuren Endstufentransistors haben wir entsprechende Bedeutung beigemessen.

Aus Surplus – Beständen stand ein Zirkulator mit eingebautem Schluckwiderstand zur Verfügung (tnx DF9IC).

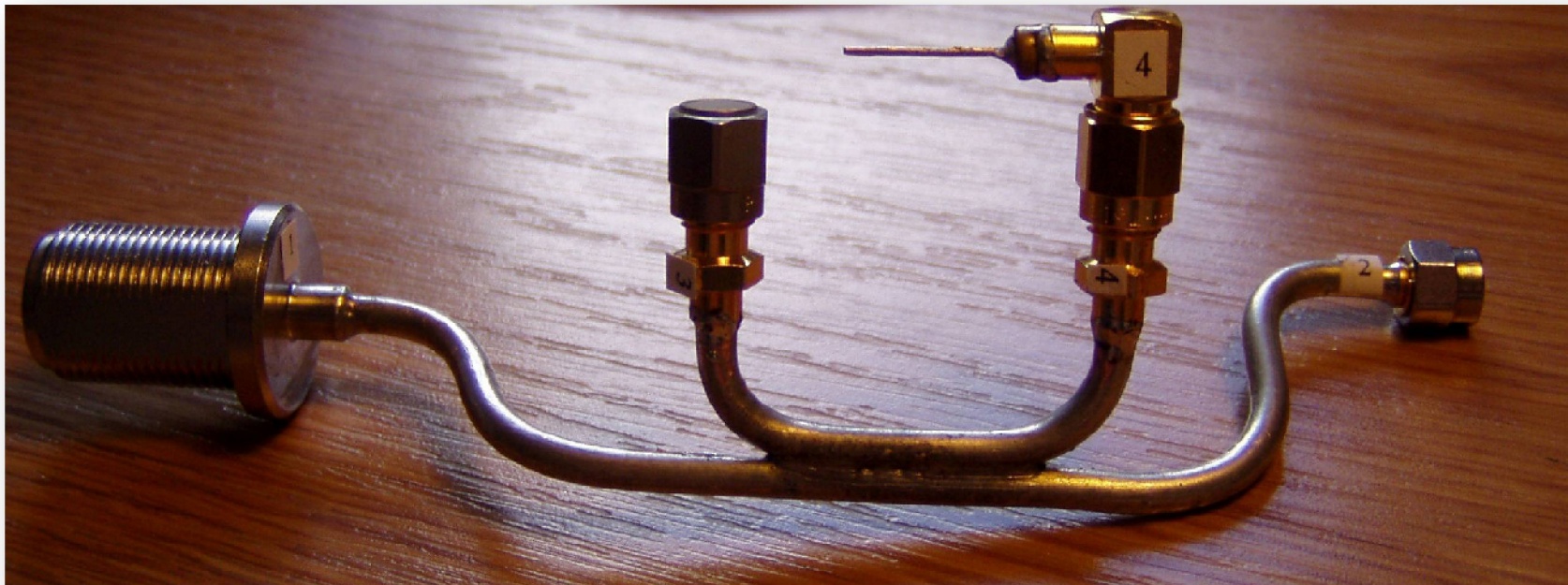
Technische Daten:

- | | |
|---------------------|---------------|
| • Frequenzbereich | 5.9 – 6.4 GHz |
| • Einfügedämpfung | 0.25dB |
| • Mittlere Leistung | 10W |
| • Spitzenleistung | 100W |

Der Kühlkörper erwies sich aber als zu groß für das vorgesehene Gehäuse. Da ohnehin genügend Kühlfläche zur Verfügung stand, wurden die Rippen kurzerhand abgesägt.

Aufbau

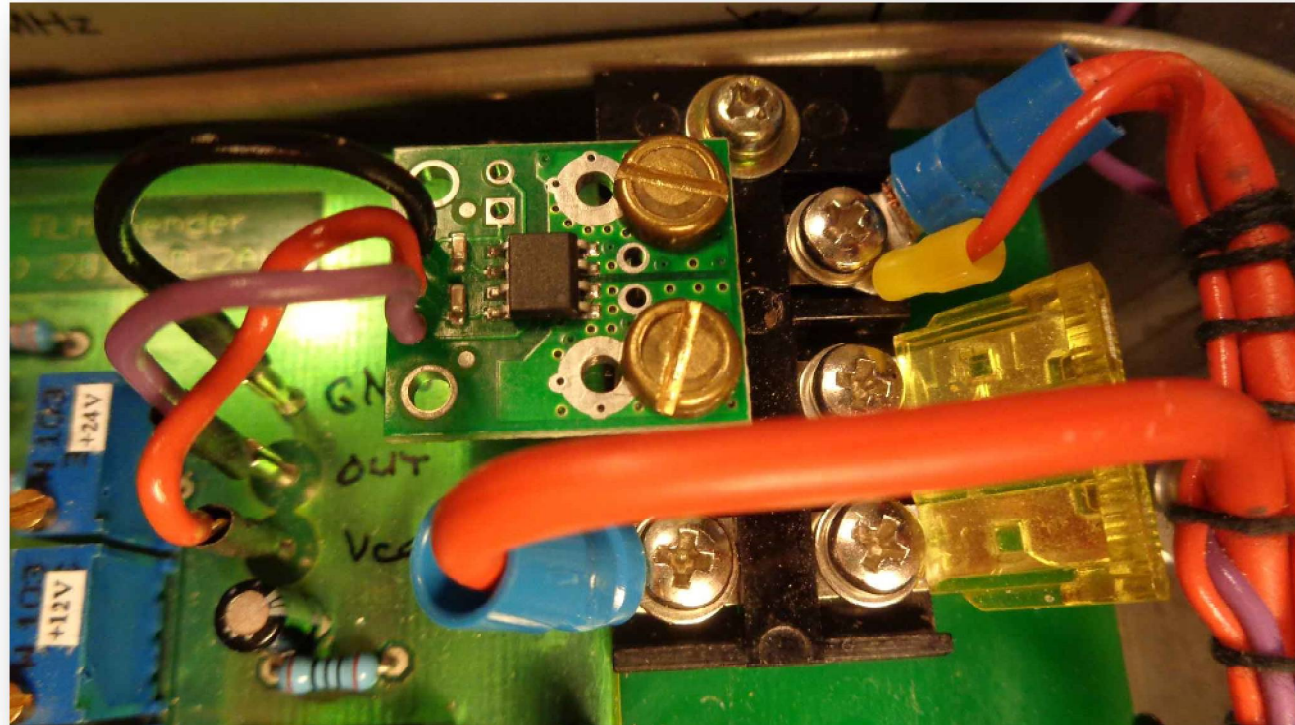
Richtkoppler



Durch den nachgeschalteten Zirkulator ist die Monitorspannung der PA allein nicht mehr aussagekräftig. Es wird ein zusätzlicher Richtkoppler direkt am Antennenausgang benötigt. Das Bild zeigt den gesamten Leitungszug bis zur Ausgangsbuchse mit aufgelötetem Eigenbau – Richtkoppler (nach UKW – Berichte, siehe [9]). Einfügedämpfung der gesamten Anordnung: ca. 0.3dB

Aufbau

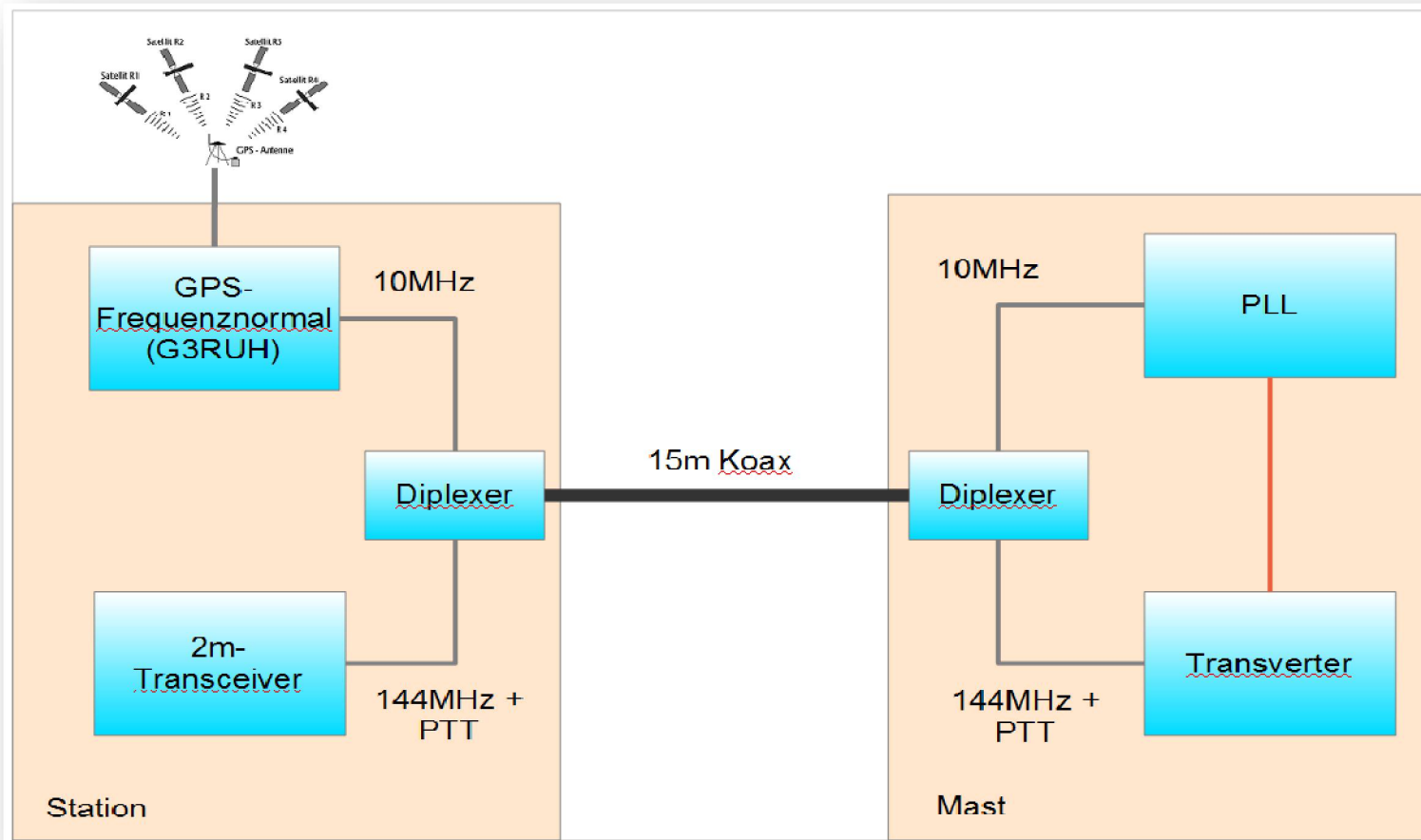
Strommessung



Die Strommessung erfolgt potentialfrei mittels ACS714 wie in [6] bereits beschrieben. Der Aufbau erfolgt auf Klemmleiste in fliegender Verdrahtung. Im Bild links ist die spezielle Bauform der Hochstrom - Leiste zu sehen.

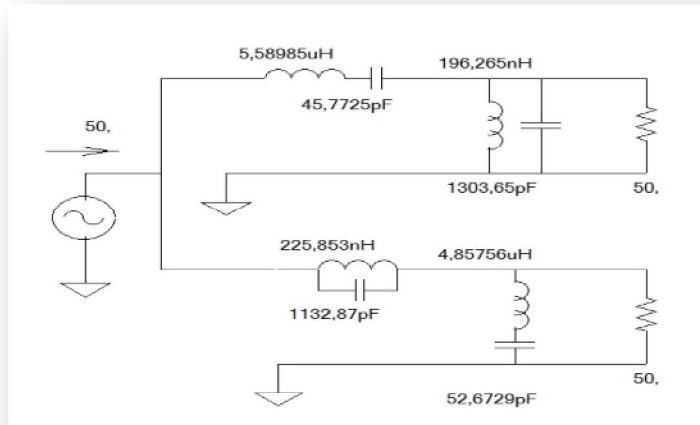
Aufbau

Frequenzstabilisierung



Aufbau

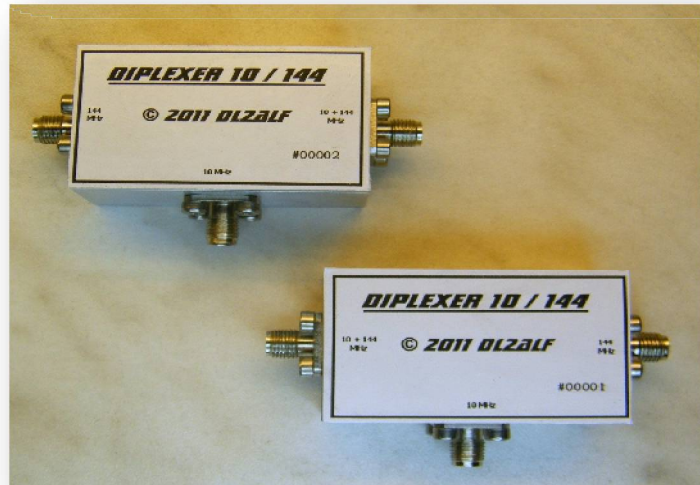
Diplexer 10/144MHz



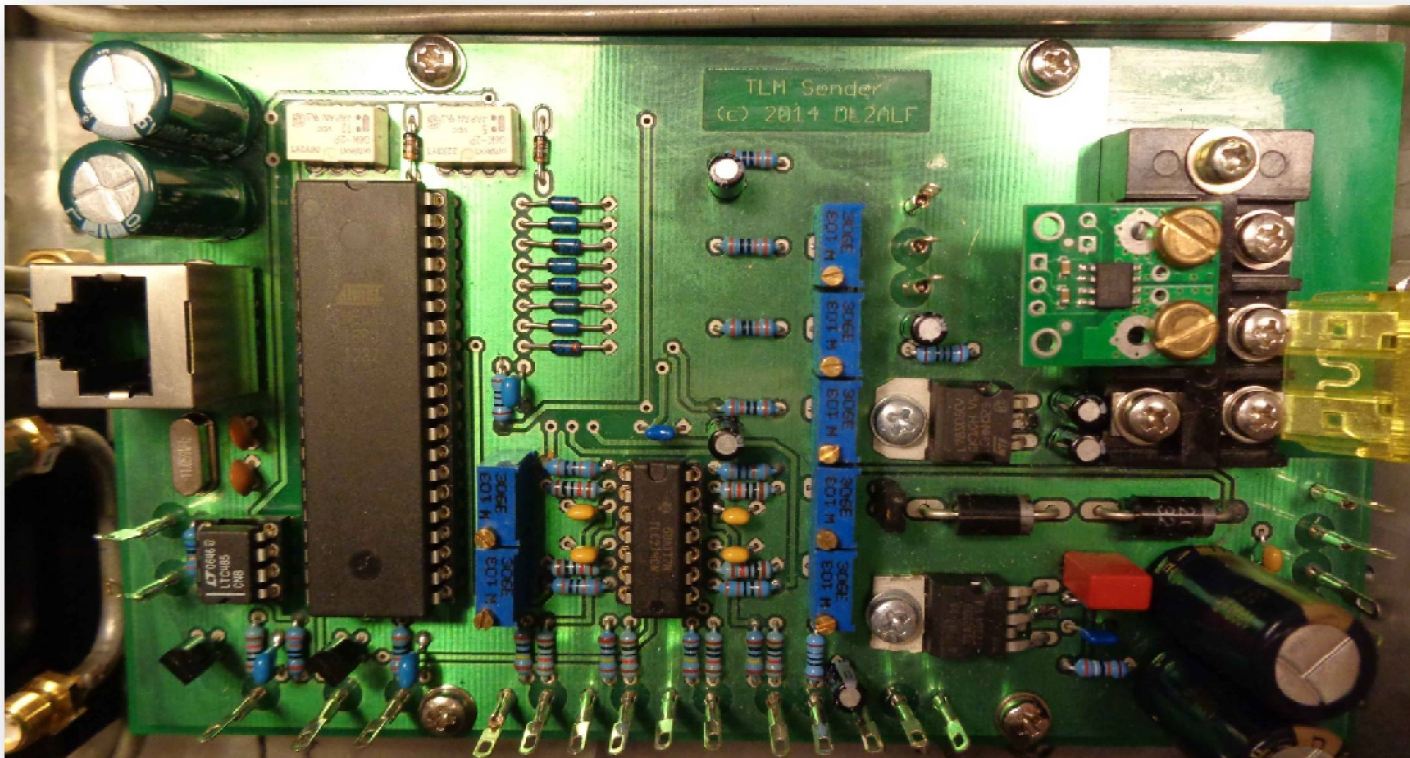
Die Diplexer entsprechen der bei DL0GTH eingesetzten Standard – Variante [6].

Es handelt sich um eine Bandpass / Bandsperre – Kombination für 10MHz mit Gleichstromdurchgang auf dem 144MHz – Pfad. Dadurch kann die PTT mittels Gleichspannung auf dem HF – Kabel übertragen werden.

Die SMD – Bauelemente finden auf einer 45mm x 25mm großen Platine Platz. Der Einbau erfolgt in Vorverstärker – Gehäusen von [3]. Mittlerweile ist eine Kleinserie bei DL2ALF entstanden.



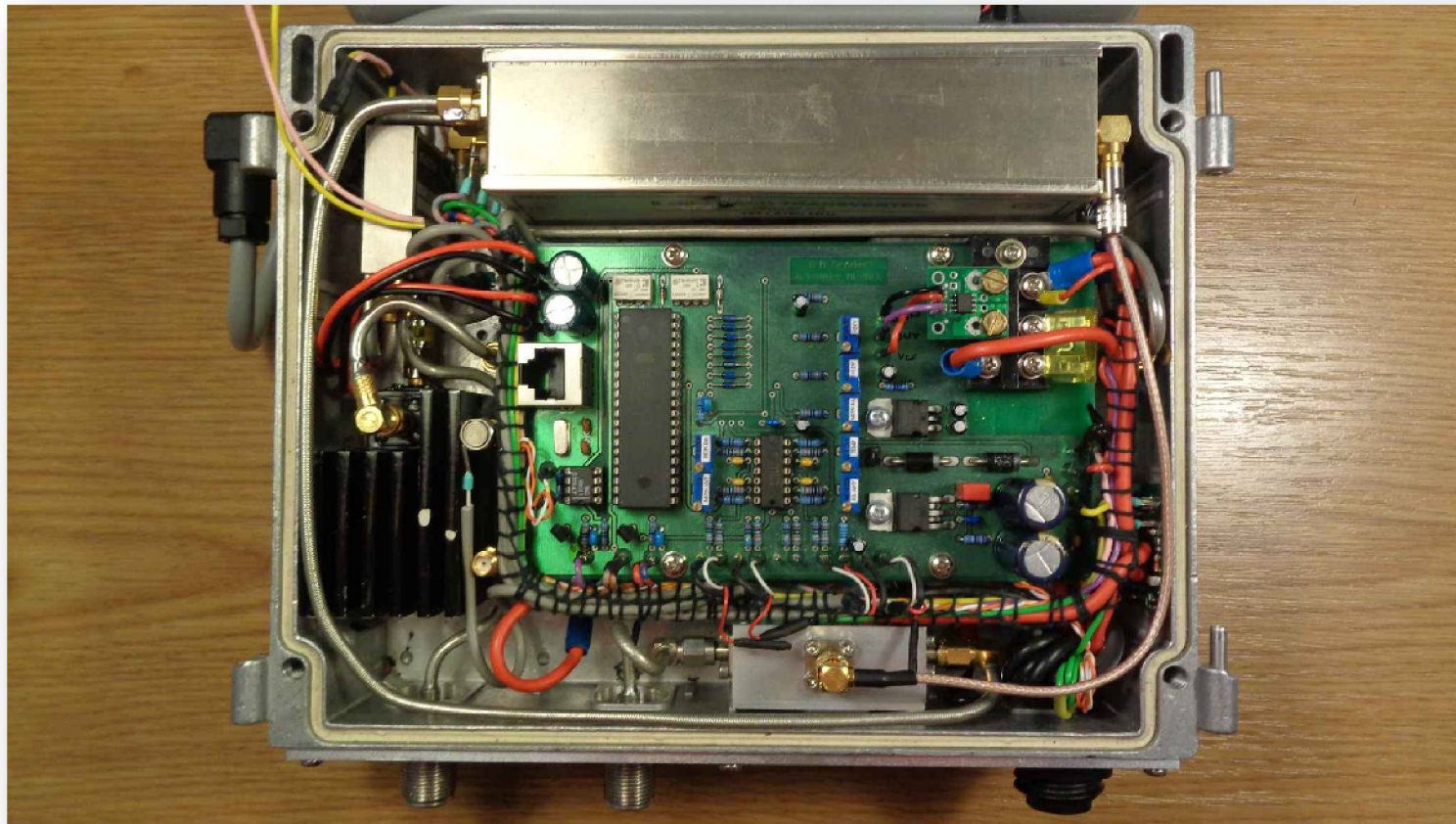
Aufbau Telemetrie



Die Telemetrie entspricht der bei DL0GTH eingesetzten Standardvariante. Damit reiht sich der Transverter nahtlos in die bereits bestehende Technik ein. Die Platine wurde vom gleichen Hersteller bezogen wie auch der HF – Teil.

Aufbau

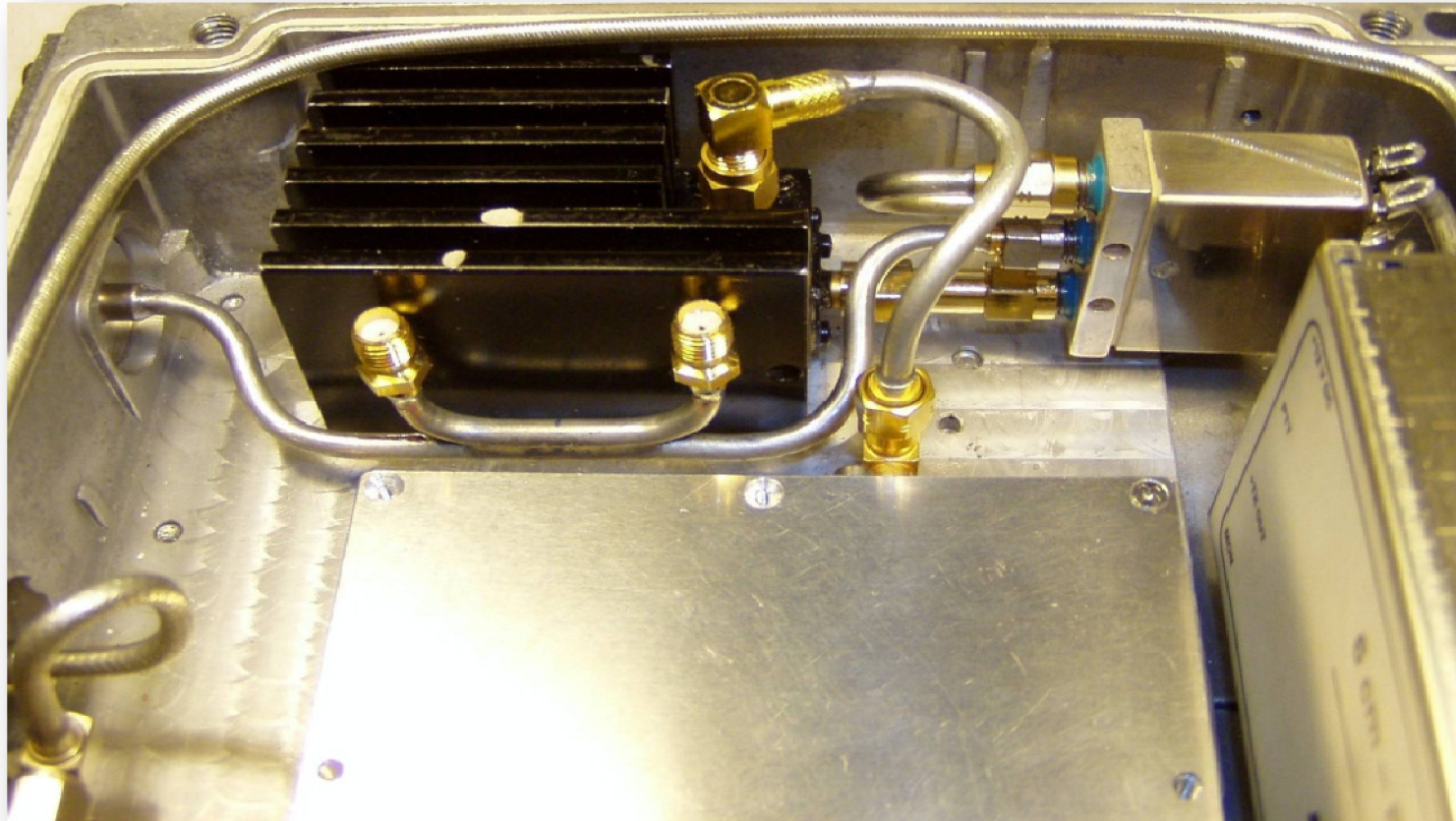
Anordnung Komponenten (1)



Der verfügbare Platz im Gehäuse ist sehr knapp. Die endgültige Anordnung der Komponenten konnte erst nach mehreren Sitzungen festgelegt werden.

Aufbau

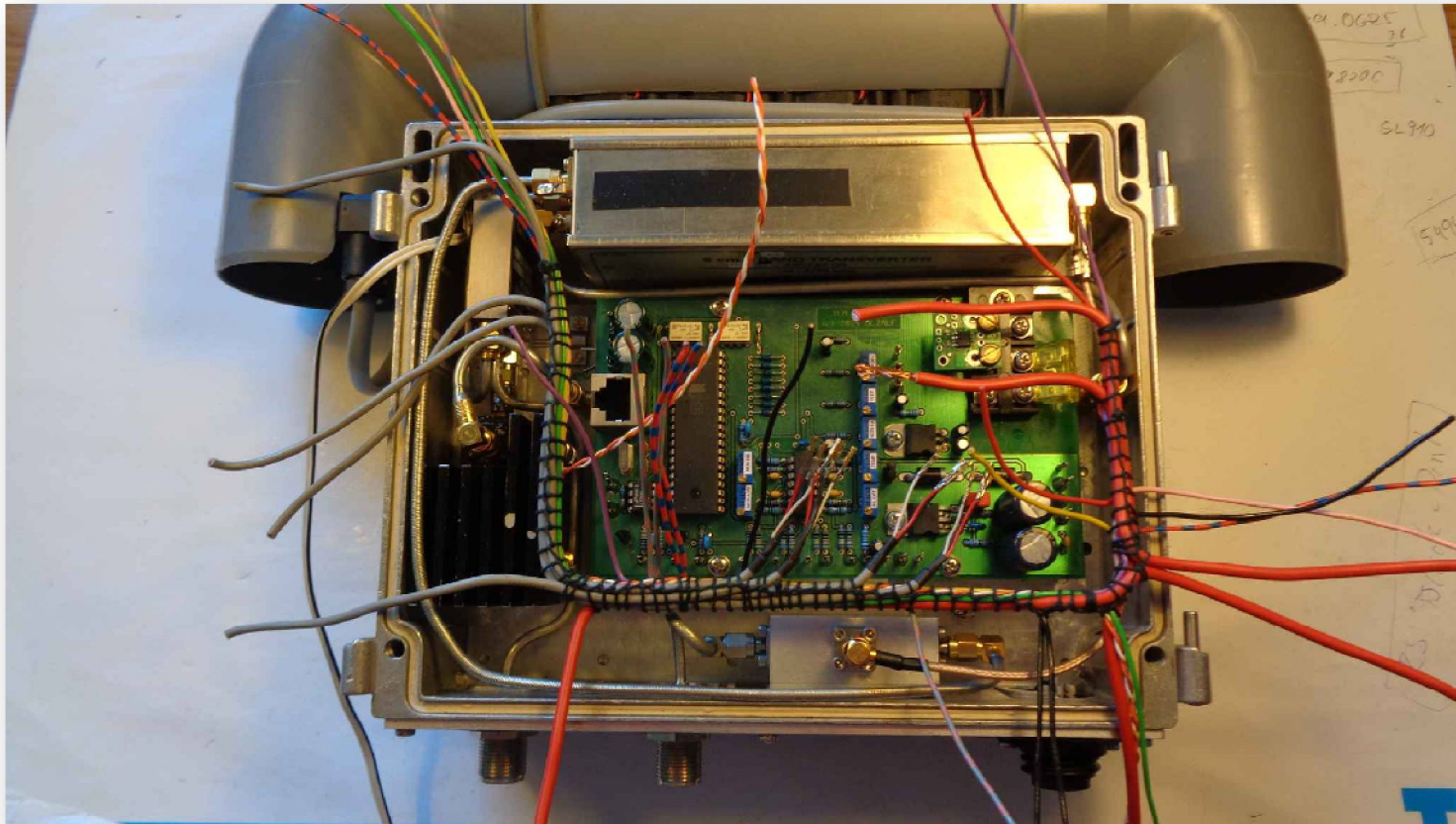
Anordnung Komponenten (2)



Die Anordnung und Verdrahtung der Hochfrequenzkomponenten erfordert sehr viel mechanisches Geschick.

Aufbau

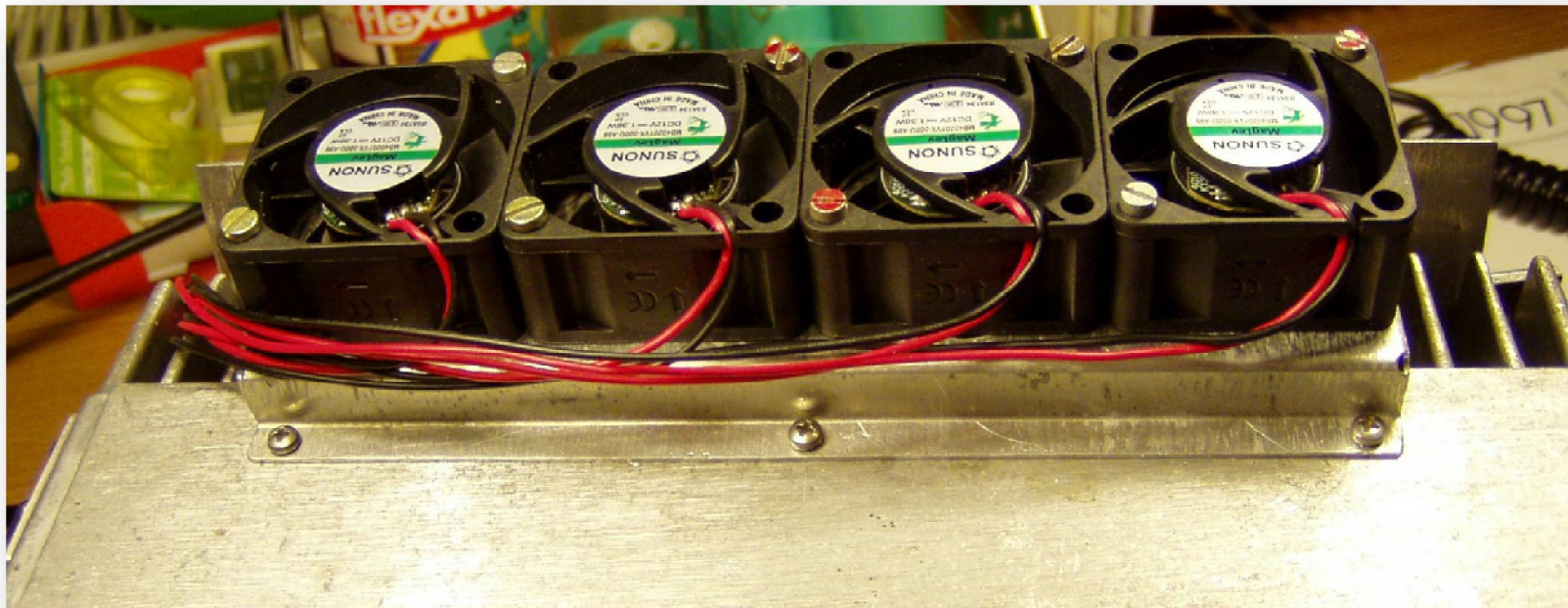
Anordnung Komponenten (3)



Handwerk, was heute kaum noch zu finden ist: ein Kabelbaum sorgt für die ordentliche Verdrahtung der einzelnen Komponenten untereinander.

Aufbau

Kühlung



Die Abführung der entstehenden Wärme ist eine Herausforderung. Immerhin bleiben ca. 100W an Verlustleistung übrig. Wir haben uns daher für eine wetterfeste Zwangskühlung bestehend aus Lüfterbatterie und handelsüblichem PVC – Rohr entschieden. Die Drehzahl der Lüfter wird PTT – gesteuert. Ein ähnliches Konzept hat sich bereits bei unserem 10GHz – Transverter bewährt.

Aufbau

Antenne

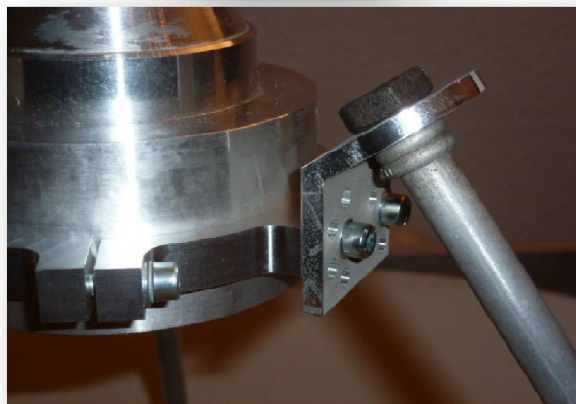


Der Parabolspiegel entstammt dem Surplus – Markt (tnx DL3YEE).

Es ist ein Prime – Focus – Spiegel, der sich durch ein besonders robustes Gestänge auszeichnet.

Technische Daten:

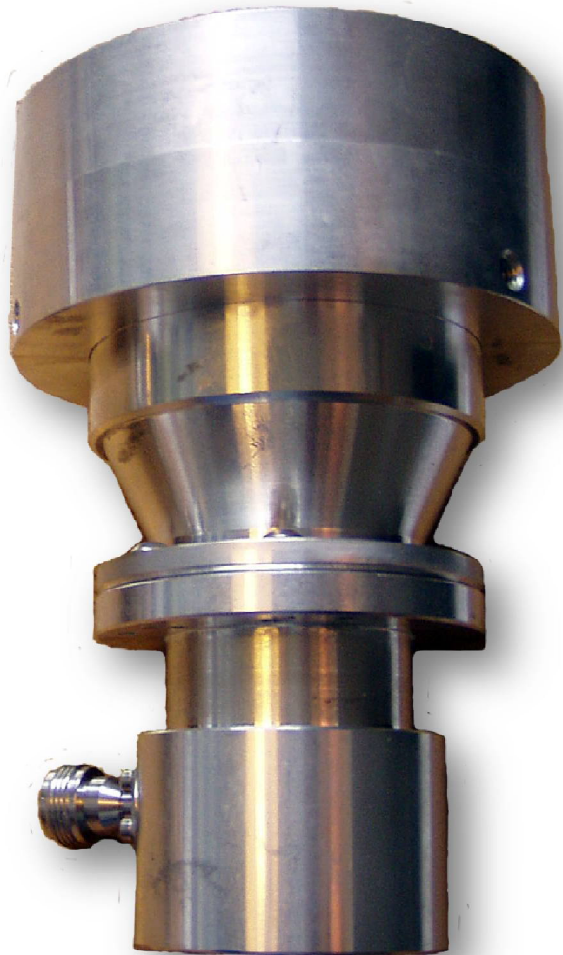
- | | |
|--------------------|------|
| • Durchmesser | 90cm |
| • f/D – Verhältnis | 0.4 |



Die Feedaufnahme wurde speziell angefertigt (tnx DL1AOB). Die Teile des Spannrings und die drei Befestigungswinkel für das Gestänge wurden jeweils aus einem Stück Aluminium gefräst.

Aufbau

Feedhorn



Das Feedhorn ist eine besonders schwere Ausführung aus dem Nachlass von OZ8AFC und stammt von einem Amateurfunkflohmarkt (tnx DK2MN). Es handelt sich um ein Conical – Feed mit Chokerring, linear polarisiert. Die Anpassung im Spiegel ist exzellent.



Messergebnisse

Die Stunde der Wahrheit

Die Einzelmesswerte der Komponenten täuschen etwas über das Gesamtergebnis hinweg. Für Sende- und Empfangsweg unterschiedlich, summieren sich die Verluste sehr schnell in eine beachtliche Größenordnung.

Empfangszweig

Buchse – Richtkoppler – Antennenrelais – 3 Steckverbinder: 0.5dB

Sendezweig

Buchse – Richtkoppler – Antennenrelais – Zirkulator – 5 Steckverbinder: 1.2dB

Die Gesamtanordnung des Transverters wurde mit kommerziellen Messgeräten im Endausbau „über alles“ vermessen. Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf die Ein- und Ausgangsbuchsen am Transvertergehäuse:

- **Eingangsausgangszahl** 1.5dB
- **Ausgangsleistung** 35W
- **Durchgangsverstärkung** 18.5dB

Fazit

Hat sich der Aufwand gelohnt?

In Summe haben wir den zeitlichen und später auch finanziellen Aufwand bis zur Fertigstellung unterschätzt. Eine Lösung mit kommerziellen Komponenten wäre zwar teurer, aber auch deutlich schneller fertig gewesen. Die reinen Messwerte bleiben hinter den Erwartungen zurück, die real erzielte Ausgangsleistung ist schon etwas enttäuschend. Geblieben sind uns:

- Die vielen Erfahrungen, die wir während des Baus sammeln konnten
- Die schönen Erinnerungen an eine großartige Teamleistung

Würden wir es wieder tun? Die Frage würden wir gerne offenlassen.

Vielen Dank an alle Beteiligten für Ihre Unterstützung!

Besonderer Dank geht an das „Kernteam“:

DM5CT DL6AUI DL2ALF

Quellenverzeichnis

- [1] „Radar antenna“. Lizenziert unter Gemeinfrei über Wikimedia Commons -
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radar_antenna.jpg#/media/File:Radar_antenna.jpg
- [2] Homepage F6BVA
<http://f6bva.pagesperso-orange.fr/>
- [3] Kuhne Electronic GmbH
<http://www.kuhne-electronic.de/>
- [4] Homepage pcb-devboards
<http://www.pcb-devboards.de/>
- [5] Watterott electronic
<http://www.watterott.com/>
- [6] “24GHz – Transverter Mark III”, Vortrag Dorsten 2013
http://www.dl0gth.de/documents/Dorsten_2013.pdf
- [7] Symbolbild Webseite anglialive
<http://www.anglia-live.com>
- [8] Silberleitkleber CW2400, Webseite Conrad electronic GmbH
<https://www.conrad.de/de/chemtronics-circuit-works-epoxy-cw2400-1-set-800290.html>
- [9] Carsten Vieland, DJ4GC: “Mikrowellen-Richtkoppler mit hohem Vor-Rückverhältnis aus Semi-Rigid-Leitungen”, UKW-Berichte 4/91, S.194ff.

Dieser Vortrag steht zum Download auf www.dl0gth.de zur Verfügung.
Weiterführendes Material ist auf Anfrage bei dl2alf@darcd.de zu bekommen.



Auf Wiederhören 2016!