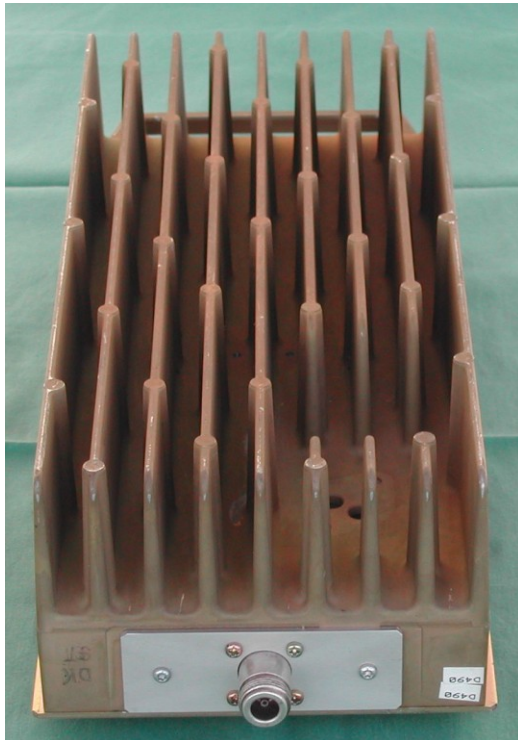


## 250-W-Kunstantenne, die bis 2,5 GHz verwendbar ist

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

**Jeder technisch interessierte Funkamateurl braucht gelegentlich eine gute und leistungsfähige Kunstantenne, um seine Ausrüstung überprüfen zu können. Falls eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung des Kühlkörpers zur Verfügung steht, kostet so eine Kunstantenne außer ein wenig Arbeitszeit nicht viel. Der nachstehende Beitrag beschreibt, wie mit Hilfe einer Komponente des ehemaligen D-Netzes ein solches Gerät zu bauen ist.**

In Österreich sind durch den Abbau des D-Netzes viele der hochwertigen MOTOROLA-Komponenten in die Hände von Funkamateuren gelangt. Wegen der weitab von den Amateurfunkbändern liegenden Betriebsfrequenz dieser Einrichtung ist eine unmittelbare Wiederverwendung allerdings nicht möglich – das ist in diesem Fall jenen vorbehalten, die über entsprechende Meßeinrichtungen verfügen und den Erfolg eines Umbaus damit auch überprüfen können. Viele dieser Komponenten sind mittlerweile recht gut dokumentiert [1].



Die Elektronik der Senderendstufe STF2480A, die in einem Alu-Druckguß-Kühlkörper eingebaut ist, kann nach bisherigen Erkenntnissen allerdings nicht auf Amateurfunk-Frequenzen umgetrimmt werden – ein Jammer und zum Wegwerfen viel zu schade!

Die Idee zur Weiterverwendung zumindest des Gehäuses stammt wieder einmal von OE5EBL: warum das Aluteil nicht als Basis für eine Kunstantenne verwenden? Der Kühlkörper ist groß und sehr massiv, er hat sogar einen Handgriff und auf der gegenüberliegenden Seite ist Platz genug, um anstatt der Buchsenleiste eine Koaxialbuchse anbringen.

Auch die Frage nach dem Widerstandselement war schon beantwortet, weil auf den bayerischen Flohmärkten gelegentlich Abschlußwiderstände in Dick- und Dünnschichttechnik mit 50 Ohm erhältlich waren, die neben ausreichender Belastbarkeit auch recht passable HF-Eigenschaften aufweisen (siehe Datenblätter).

Abb. 1: die fertige Kunstantenne

### Eckdaten des Mustergerätes

- CW-Verlustleistung: 250 W für etwa 5 min aus dem kalten Zustand
- Max. Impuls-Verlustleistung: 4 kW (nach Widerstands-Datenblatt)
- Rücklaufdämpfung unter 2 GHz: zumindest 14 dB
- Anschluß: N-Buchse
- Abmessungen über alles: 36 \* 14 \* 9,5 cm (L \* B \* H)
- Gewicht: ca. 3,9 kg

### Bauteile

Zusätzlich zum Kühlkörper, der in Abb. 1 ersichtlich ist, sind beim Mustergerät noch folgende Teile verwendet worden:

- Kupferplatte mit 100 \* 50 \* 10 mm als Wärmeverteiler (Abfallstück einer Stromschiene, wie sie im Verteilerbau verwendet wird)
- 50-Ohm-Abschlußwiderstand

## 250-W-Kunstantenne

- Zweiseitig beschichtete Leiterplatte (Streifenleitung) oder alternativ ein Festmantel-Koaxialkabel. Die nachstehende Beschreibung gilt für die Verwendung einer Streifenleitung als elektrische Verbindung zwischen Buchse und Widerstand.
- N-Flanschbuchse mit extra langem Hals
- 2 kleine Blechstücke

### Grundsätzliche Überlegungen

Bei einem Gerät dieser Art liegt das Hauptaugenmerk neben möglichst guter Anpassung auf Wärmeübergang und Wärmeabfuhr. Obwohl der verwendete Kühlkörper sehr groß ist, ist er doch nicht in der Lage, die bei Volllast entstehende Verlustwärme auf Dauer ohne Überhitzung des Widerstandes abzuführen. Deshalb ist die Nennleistung nur für einen begrenzten Zeitraum zulässig, der aber durchaus ausreicht, um Abgleicharbeiten durchzuführen. Details betreffend den Temperaturverlauf am Flansch des Abschlußwiderstandes sind der Abb. 5 zu entnehmen. Um die im Widerstand entstehende Wärme so gut wie möglich an den Kühlkörper weiterzuleiten, sitzt der Widerstand auf einer Kupferplatte, welche die Wärme rasch und großflächig auf den Aluminium-Kühlkörper verteilt.

Die elektrische Verbindung zwischen Buchse und Abschlußwiderstand wurde wieder so wie beim Leistungs-Dämpfungsglied als Streifenleitung ausgeführt. Diese Leiterplatte ist leicht herzustellen, weil sie nur einseitig angeätzt ist; die andere Seite bleibt als Masse vollflächig bestehen.

Buchsen der Norm N sind mechanisch robust und weisen im GHz-Bereich gute Werte auf; deswegen empfiehlt sich die Verwendung dieses Typs. Weil die Buchse von innen durchgesteckt wird, der Flansch also innen liegt, braucht man eine Ausführung mit langem Hals.

### Mechanische Vorarbeiten

#### Anschlußblech:

Der buchsenseitige Anschluß für die Masseseite der Streifenleitung besteht aus ca. 0,7 mm starkem Weißblech mit 50 \* 25 mm und hat Bohrungen für den Kragen und die Flanschlöcher der Koax-Buchse. Ebenso gut ist Kupfer- oder Messingblech verwendbar. Das Loch für das lötseitige Ende der Buchse ist vorsichtig mit einem Schälbohrer aufzuweiten. Dünneres Blech ist schwieriger zu bohren, weil es bei großen Löchern zum Ausreißen neigt.

#### Abdeckblech:

Zur äußeren Abdeckung des länglichen Buchsendurchbruches dient eine Blende aus 2-mm-Alublech, in der ebenfalls Bohrungen für die N-Buchse anzubringen sind.

#### Kupferplatte:

Das Stück Kupfer, das die Wärme vom Widerstand an den Kühlkörper weiterleitet, hat mittig eine Ausnehmung von 25 \* 10 mm mit 2,5 mm Tiefe, in der der Widerstand montiert wird. Befestigt wird die Platte am Kühlkörper mit 4 Schrauben M4. Außerdem sind in der Platte noch 2 Gewinde M3 zur Befestigung der Streifenleitung sowie 2 Löcher zur Befestigung des Widerstandes anzubringen. Die beiden langen M3-Schrauben dafür gehen durch die Kupferplatte hindurch und halten im Kühlkörper.

#### Kühlkörper:

Die gesamte Endstufen-Elektronik ist aus dem Kühlkörper auszubauen. Dann entfernt man auf einer Fräsmaschine den innenliegenden Steg, der den HF-Teil vom Stromversorgungs- und Überwachungsteil abgeschottet hat. Unbedingt ist darauf zu achten, daß das Werkstück bei der Bearbeitung ganz fest eingespannt ist!

Mit einem Schafffräser von etwa 10 mm Durchmesser ist anschließend im Bereich der Buchsenöffnung der Wulst für die mittlere Deckelschraube wegzunehmen und innen die Stirnwand senkrecht zu bearbeiten, damit der Flansch der Koax-Buchse gerade aufliegen kann (wegen der Herstellung im Druckgußverfahren ist die Innenwand ein wenig schräg). Im Bereich zwischen den beiden nächstliegenden Wulsten ist die ebene Innenfläche (der „Boden“ des auf den Rippen liegenden Kühlkörpers) um ca. 2,5 mm abzusen-

## 250-W-Kunstantenne

ken (stufig verlaufend über etwa 25 mm), damit Platz für den Flansch der N-Buchse und das Anschlußblech geschaffen wird. Abb. 3 soll zeigen, wie das gemeint ist.

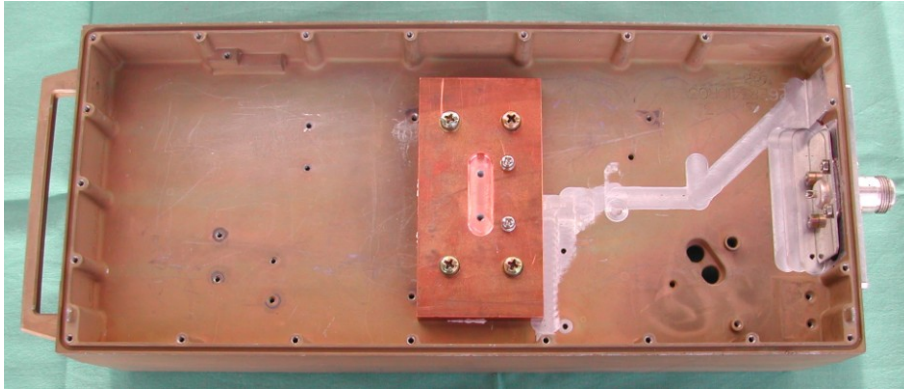


Abb. 2: Innenansicht des vorbereiteten Kühlkörpers mit eingebauter Kupferplatte

Anschließend ist mit einer Rundfeile genau zentrisch im länglichen Durchbruch, in dem die Original-Buchse montiert war, das Loch so zu erweitern, daß sich die N-Buchse gerade durchstecken läßt. Die 4 Löcher des Flansches sind anzuzeichnen, anzukörnen und mit einem 2-mm-Bohrer vorzubohren. Das hat sich bewährt, weil in diesem Bereich wenig Spielraum ist und so die Bohrungen genauer werden. Die Löcher sind anschließend auf 3,2 mm zu erweitern, damit die M3-Schrauben zur Befestigung der Buchse durchgesteckt werden können.

Die Kupferplatte kommt in die Mitte des Kühlkörpers. Bei der Positionierung ist darauf zu achten, daß ihre Löcher zur Befestigung auf volles Material treffen, in das dann die Gewinde zu schneiden sind (M4 für die Platte, M3 für den Widerstand). Eine allenfalls notwendige Verschiebung in der Längsachse läßt sich durch Anpassen der Länge der Streifenleitung ausgleichen.

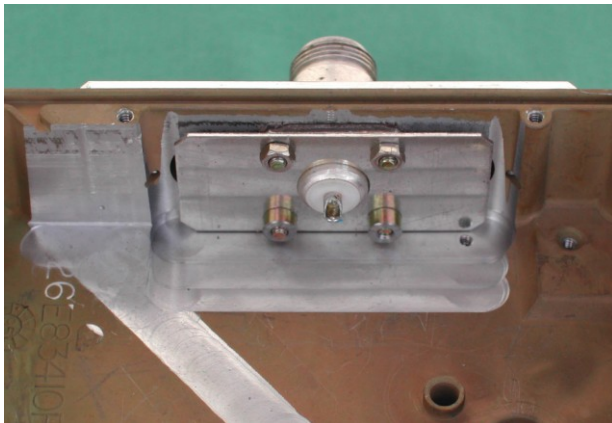


Abb. 3: Anschluß-Detail im Bereich der N-Buchse

### Zusammenbau

Die beiden bodennahen M3-Muttern auf dem Anschlußblech sind nach dem Anlöten der Streifenleitung nicht mehr für ein Haltewerkzeug zugänglich. Man muß sie deshalb entweder vorher anlöten oder Einpreßmuttern verwenden, so wie im Mustergerät ersichtlich (vgl. auch [1], TECHNIK / TIPPS / Einpreßmuttern).

Vor der Montage der Kupferplatte ist unbedingt mit einem Haarlineal zu prüfen, ob die Flächen von Platte und Kühlkörper völlig eben sind und satt anliegen.

Sollte das nicht der Fall sein, so sind die Flächen auf der Fräsmaschine nachzuarbeiten. Nach Beigabe von Wärmeleitpaste schraubt man die Platte fest.

Die Streifenleitung ist in der Mitte der Seite, die am Anschlußblech zu liegen kommt, mit einer Nadelfeile so weit auszunehmen, daß der vorstehende Bund der Koax-Buchse hineinpaßt. Dann ist die andere Seite der Streifenleitung so zu kürzen, daß sie exakt am Rand der Ausnehmung in der Kupferplatte endet, und die beiden Befestigungslöcher sind anzuzeichnen und zu bohren. Die ober- und unterseitigen Masseflächen sind über eine Reihe von Durchkontaktierungen verbunden. Diese bestehen beim ausgeführten Gerät aus Aderendhülsen mit einem Außendurchmesser von 1,4 mm. Sie sind auf Ober- und Unterseite der Leiterplatte zu verlöten. Das Durchkontaktieren ist lästig, aber notwendig. Eine versuchsweise Messung des Rücklaufes mit der noch nicht durchkontaktierten Leiterplatte hat zu einem unbefriedigenden Ergebnis geführt. Die so vorbereitete Leitung kann nun erstmalig montiert werden.

Vor dem Festlöten des Anschlußbleches auf der Oberseite der Leitung ist darauf zu achten, daß der Stift der Buchse genau mittig aufliegt. Für die Lötarbeit am Anschlußblech ist ein kräftiger LötKolben mit 100

## 250-W-Kunstantenne

W notwendig, weil im Bereich der Buchse die Wärme sehr rasch abgeführt wird. Dann demontiert man die Leitung samt Anschlußblech und verlötet auch die Unterseite. Dabei ist ebenso der auf Masse liegende Teil der Buchse oben und unten mit der Massefläche der Streifenleitung zu verlöten!

Am widerstandsseitigen Ende der Leitung ist der Photolack auf der Unterseite auf eine Länge von ca. 10 mm mit Spiritus zu entfernen. Die quer zur Streifenleiter-Platine liegende Außenkante der Kupferplatte wird an der Oberseite über die ganze Breite mit einem dauerhaften Klebestreifen auf Papiergrundlage etwa 5 mm breit abgedeckt. Dies hat den Zweck, daß beim Festschrauben die Leiterplatte ein klein wenig gebogen und das vom Lack befreite Ende sicher auf die Kupferplatte gepreßt wird und so eine breitflächige Kontaktierung und eine durchgängige Masseverbindung sicherstellt.

Vor dem Festschrauben des Widerstandes ist die Ausnehmung in der Kupferplatte zu reinigen. Der Widerstand wird unter mäßiger Beigabe von Wärmeleitpaste verschraubt und die Anschlußfahne mit dem Mittelleiter der Leiterplatte verlötet. Nicht vergessen, bei der Anschlussfahne des Widerstandes einen Längenausgleich vorzusehen! Hinweise dazu gibt das Dokument ANAREN-RFP250.pdf, das in der Datei Dummy01.zip enthalten ist. Damit ist die Kunstantenne bereits fertig zum Test.

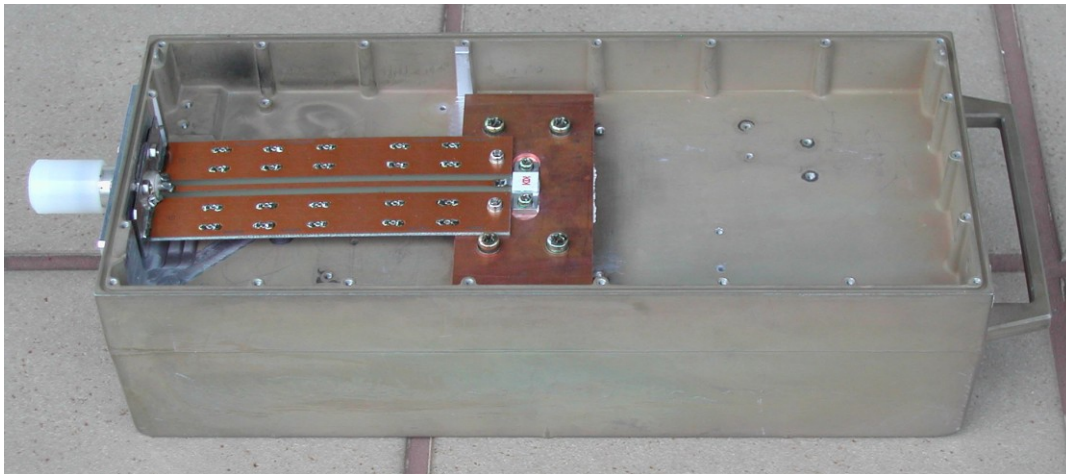


Abb. 4: Kühlkörper mit eingebauter Streifenleitung

Um die Buchse vor Beschädigung zu schützen, ist es ratsam, sie bei Nichtgebrauch mit einer Schutzkappe zu versehen. Die in Abb. 4 ersichtliche Kappe ist aus einem Stück Plastik auf der Drehmaschine angefertigt worden.

## Ergebnisse

### Thermisch:

Die zulässige Verlustleistung des Prototyps ist im Dauerbetrieb auf etwa 100 W begrenzt. Beim Musterexemplar erreicht der Flansch des Widerstandes bei 200 W Verlustleistung innerhalb von 12 Minuten eine Temperatur von 91 Grad C, die man zum Schutz des Widerstandselementes nicht wesentlich überschreiten sollte (siehe Datenblätter). Wenn die Wärmeleitung vom Widerstand zu den Kühlrippen nicht optimal funktioniert, weil die Flächen nicht eben sind oder Schmutz dazwischen ist, dann wird die Temperatur am Widerstand mit Sicherheit ein Stück höher sein.

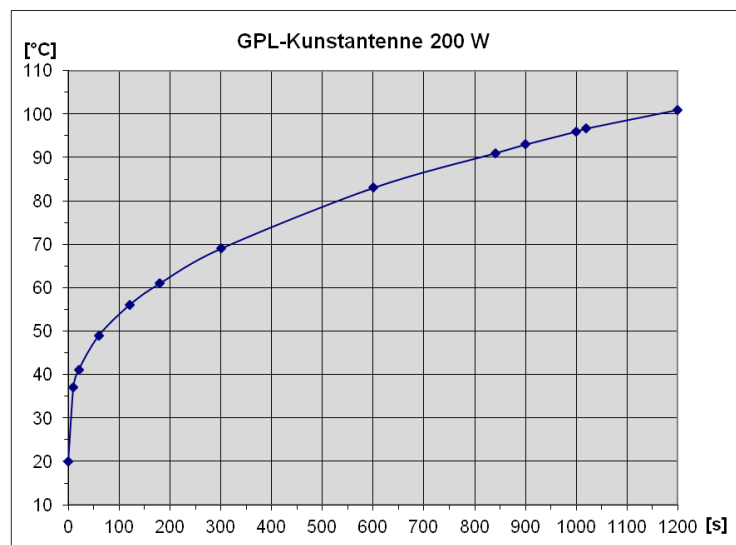


Abb. 5: Thermische Meßwerte

## 250-W-Kunstantenne

Die Werte in Abb. 5 wurden mit einem Anlegethermometer von FLUKE gemessen. Anstatt der Hochfrequenz aus einer Senderendstufe wurde die Heizleistung für den Erwärmungstest wiederum einem Trenn-Regeltransformator entnommen.

Elektrisch:

Für die Messung stand ein HP 8569B Analysator und ein HP 8350 Sweeper zur Verfügung. Im Bereich von 10 bis 1800 MHz ist zur Kontrolle die Messung mit 2 verschiedenen Richtkopplern durchgeführt worden, im Bereich von 1,7 GHz bis 3,7 GHz wurde nur ein umgebauter NARDA-Richtkoppler verwendet, der in diesem Bereich eine Richtschärfe zwischen 20 und 30 dB aufweist. Der Wert der Rückflußdämpfung ergibt sich aus der Differenz der Kurven von Vorlauf und Rücklauf.

Abb. 6 und Abb. 7 zeigen Vorlauf und Rücklauf der fertigen Kunstantenne mit Streifenleitung im Bereich zwischen 10 MHz und 1800 MHz. In Abb. 7 ist zu Vergleichszwecken zusätzlich noch der Rücklauf eines guten Abschlußwiderstandes eingetragen.

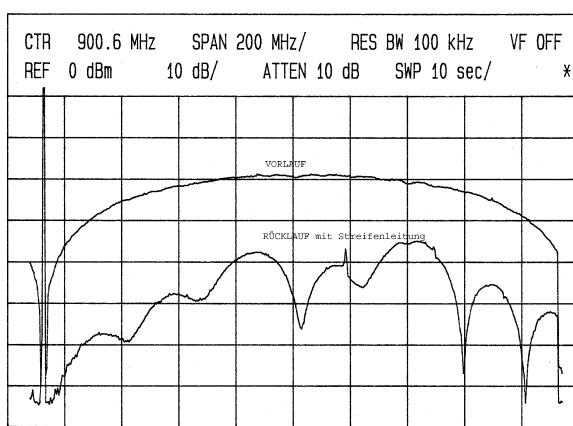


Abb. 6: Vorlauf und Rücklauf im Bereich von 10 bis 1800 MHz mit Eigenbau-Richtkoppler gemessen

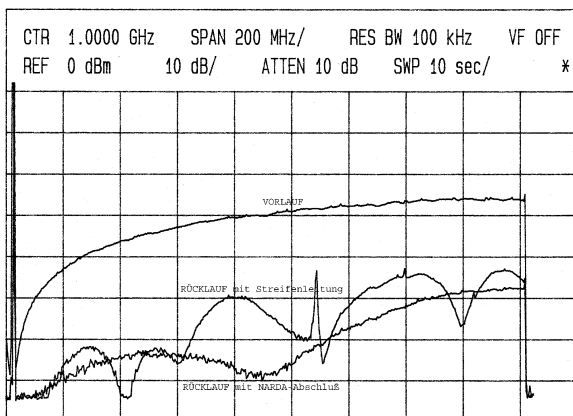


Abb. 7: Vorlauf und Rücklauf im Bereich von 10 bis 1800 MHz gemessen mit umgebautem NARDA-Richtkoppler

Aus den beiden Bildern ist ersichtlich, daß

- der Verlauf des Rücklaufes eine gewisse Ähnlichkeit aufweist
- die Rückflußdämpfung fast im gesamten Bereich 20 dB nicht unterschreitet, was einem VSWR von weniger als 1,25 entspricht. Lediglich bei 800 MHz, bei 1300 MHz und bei 1800 MHz werden in Abb. 6 die 20 dB nicht erreicht, wobei das Minimum von ca. 14 dB bei 1300 MHz einem VSWR von 1,5 entspricht, was für Abgleicharbeiten allemal ausreicht (4 % der Leistung werden reflektiert).

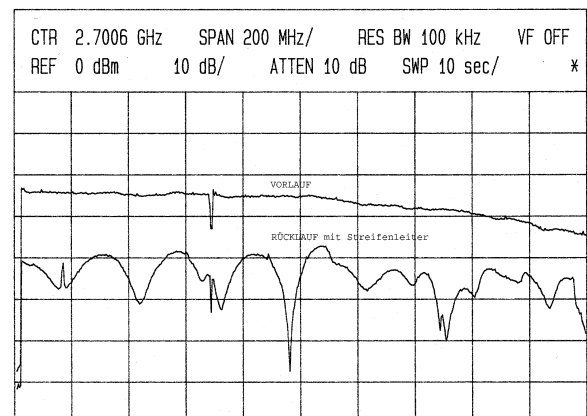


Abb. 8: Vorlauf und Rücklauf im Bereich von 1,7 bis 3,7 GHz gemessen mit umgebautem NARDA-Richtkoppler

In Abb. 8 ist bis 3,3 GHz die Rückflußdämpfung mit Ausnahme eines schmalen Bereiches um 2,8 GHz größer als 14 dB, darüber geht sie auf 10 dB zurück. Der Wert bei 2,8 GHz liegt bei etwa 11 dB. Bei dieser Betrachtung sollte man nicht übersehen, daß der verwendete Abschlußwiderstand nur bis 2 GHz mit einem VSWR von 1,15 spezifiziert ist.

Die recht ungleichmäßige Rücklaufkurve war dann auch Anlaß für weitere Untersuchungen. Um festzustellen, ob dieser ungleichmäßige Verlauf von der Streifenleitung herrührt oder ob es sich um eine Eigenschaft des Abschlußwiderstandes handelt, wurde ein solcher Widerstand versuchsweise auf einem Stück Leiterplatte montiert und mit einer ca. 20 cm langen Semi-Rigid-Leitung mit angebaute N-Buchse



## 250-W-Kunstantenne

verbunden. Die Messung gemäß Abb. 10 zeigt, daß die Welligkeit der Kurve nicht ausschließlich auf die Streifenleitung zurückzuführen ist, denn selbst mit dem guten Richtkoppler ist eine leichte Welligkeit festzustellen, die in Abb. 11 mit dem nicht so guten, aber dafür breitbandigen Richtkoppler stärker zum Ausdruck kommt.

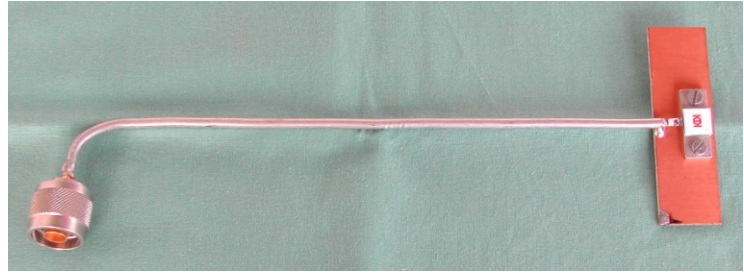


Abb. 9: Anordnung zur Überprüfung des Abschlusswiderstandes

Das Resultat des Versuchs ist auf Grund der Meßergebnisse zwiespältig:

Auf der einen Seite hat die Semi-Rigid-Leitung keine so sprunghaften Änderungen des Rücklaufes im Bereich bis 1,8 GHz zur Folge, auf der anderen Seite ist damit der Rücklauf im Bereich über 1,7 GHz größer und damit das SWR schlechter. Ob die Diskrepanz womöglich eine Folge der verwendeten Messmittel ist, läßt sich derzeit nicht so ohne weiteres feststellen.

Wer also im unteren Frequenzbereich die bessere Kunstantenne haben will, sollte von der Streifenleitung keinen Gebrauch machen, sondern die Verbindung zum Abschlusswiderstand mit einem Stück Semi-Rigid-Koaxialkabel herstellen oder aber die Streifenleitung neu dimensionieren. Jene, die diese Kunstantenne auch im 13-cm-Bereich verwenden wollen, sind wahrscheinlich mit der Streifenleitung besser beraten.

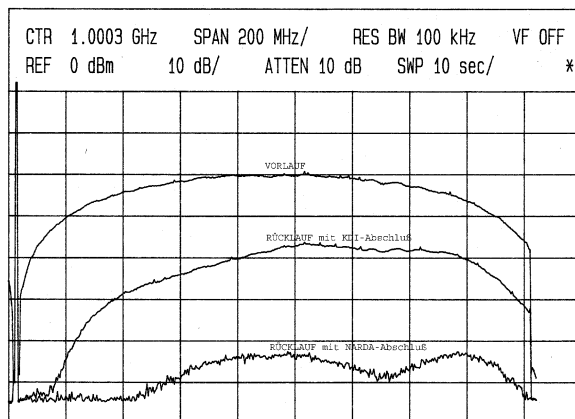


Abb. 10: Vorlauf und Rücklauf im Bereich von 10 bis 1800 MHz gemessen mit Eigenbau-Richtkoppler

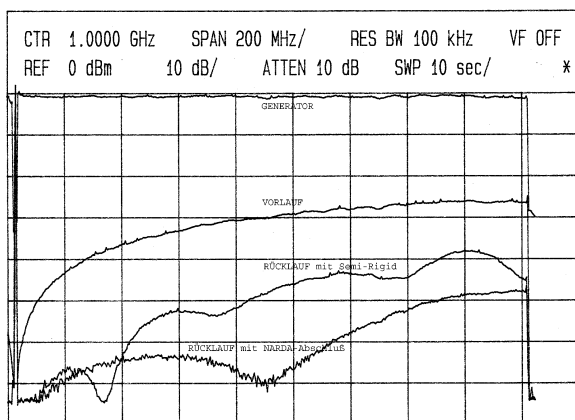


Abb. 11: Vorlauf und Rücklauf im Bereich von 10 bis 1800 MHz gemessen mit umgebautem NARDA-Richtkoppler

Die in Abb. 10 dargestellten Kurven haben folgende Bedeutung:

Obere Kurve = Koppeldämpfung des Richtkopplers.

Mittlere Kurve = Rücklauf der Versuchsanordnung.

Untere Kurve = Rücklauf eines anstatt der Versuchsanordnung angeschlossenen guten Abschlusswiderstandes zum Vergleich.

Man sieht, daß die an der fertigen Kunstantenne festgestellten Unstetigkeiten hier kaum mehr vorhanden sind.

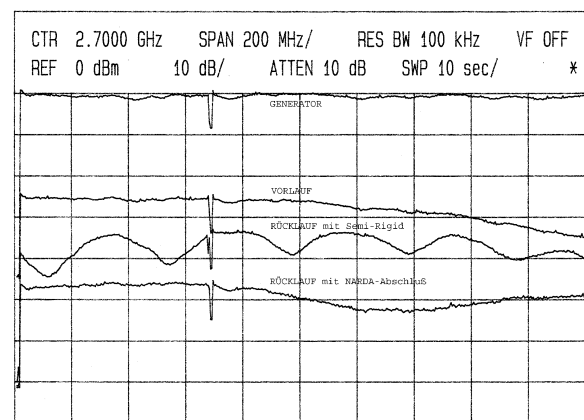


Abb. 12: Vorlauf und Rücklauf gemessen im Bereich von 1,7 bis 3,7 GHz mit umgebautem NARDA-Richtkoppler

### Dateien

Das hier verwendete Leiterplatten-Layout ist in der gepackten Datei ‚kunstant01.zip‘ enthalten, ebenso ein Vergleichsmaßstab zum Überprüfen der Maßhaltigkeit des Druckers (herunterzuladen von [2]). Eine allfällige Änderung der Vergrößerung läßt sich in der \*.ps-Datei vornehmen. Wie man mit der \*.ps-Datei verfährt, ist unter [3] nachzulesen. Das Datenblatt des im Mustergerät verwendeten Abschlußwiderstandes (KDI01.pdf) sowie ein Datenblatt der Firma ANAREN (ANAREN-RFP-250.pdf) sind ebenfalls in der Datei ‚kunstant01.zip‘ enthalten.

### Bezugsquellen für Teile

Max, OE5MLL hat noch eine begrenzte Anzahl von Endstufenmodulen. Einzelheiten sind direkt mit ihm zu vereinbaren. Abschlußwiderstände werden in schöner Regelmäßigkeit auf Amateurfunk-Flohmärkten angeboten, die Leiterplatte ist selbst anzufertigen.

### Zusammenfassung

Das Musterexemplar ist bis über 3 GHz für den Abgleich von Sendeendstufen brauchbar. Legt man auf gleichförmigen Verlauf der Anpassung im unteren Frequenzbereich Wert, dann sollte die Verbindung zwischen Buchse und Widerstand mit gutem Koaxialkabel oder einer verbesserten Streifenleitung ausgeführt werden.

Sehr wahrscheinlich können auch D-Netz-Endstufengehäuse anderer Fabrikate mit ähnlicher Größe in dieser Weise weiterverwendet werden.

**Achtung:** Der Abschlußwiderstand enthält Berylliumoxid, welches giftig ist - also auf keinen Fall öffnen!

Viel Freude mit der neuen Kunstantenne!

Helmut, OE5GPL

### Verweise:

- [1] Internetseite des Oberösterreichischen Amateurfunkverbandes OAFV, TECHNIK/BAUGRUPPEN/D-NETZ: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik>
- [2] Oberösterreichischer Amateurfunkverband OAFV, TECHNIK/MESSEN/HF, 250-W-Kunstantenne: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik>
- [3] Oberösterreichischer Amateurfunkverband OAFV, TECHNIK/WERKSTATT/TIPPS, Platinen herstellen: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik>
- [4] Oberösterreichischer Amateurfunkverband OAFV, TECHNIK/MESSEN/HF, Leistungs-Dämpfungsglied: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik>

### 1. Nachtrag (Februar 2006)

Eike, OE5EBL hat bei seinem Nachbau den mechanischen Aufwand bei der Bearbeitung des Gehäuses ganz wesentlich reduziert und folgende Lösung getroffen:

Die Verbindung zwischen N-Buchse und Widerstand ist mit einem entsprechend zurechtgebogenen Festmantelkabel ausgeführt. Abb. 13 zeigt, wie er die Leitung verlegt hat.

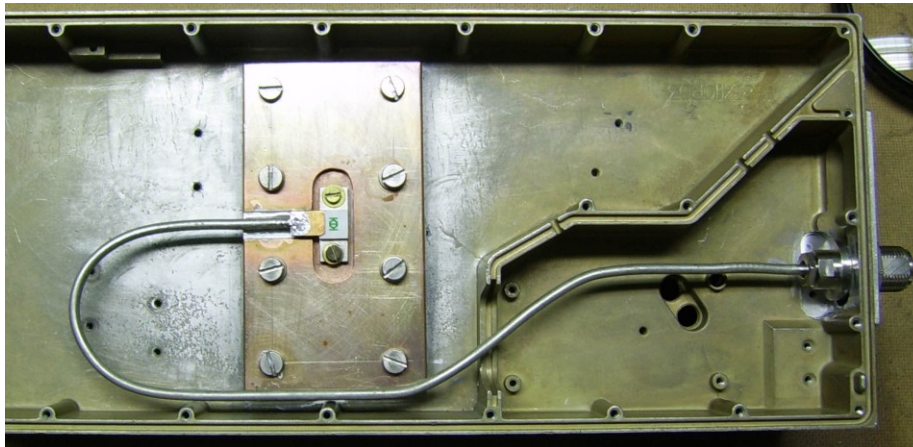


Abb. 13: Anordnung der Festmantel-Leitung

Damit wird das Entfernen der innenliegenden Trennwand unnötig. Eine Bearbeitung der Innenseite an der Stelle, wo die N-Buchse durchgesteckt wird, ist jedoch nach wie vor unumgänglich, um eine plane Befestigungsfläche zu erhalten. Nur so bekommt die Buchse den notwendigen strammen Sitz.

Der Mantel der Semi-Rigid-Leitung wurde vor dem Einbau des Widerstandes folgendermaßen an der Kupferplatte festgelötet:

Das ganze Kupferstück ist auf einer alten Kochplatte bis über den Schmelzpunkt des Lötzinns erwärmt worden, wobei die Lage der HF-Leitung bereits vor dem Erwärmen in der richtigen Position fixiert wurde. Nach dem Lötvorgang kann man das Kupferstück vorsichtig durch Auflegen eines nassen Tuches unter den Schmelzpunkt des Zinns abkühlen, um die Gefahr einer ungewollten Veränderung der Lage der Leitung zu vermindern.

Als Fachmann hat Eike mit sehr gutem Erfolg auch versucht, die Anpassung der Leitung an den Widerstand zu optimieren. Die nachstehenden Abbildungen zeigen den gemessenen Rücklauf in Abhängigkeit von der Frequenz:

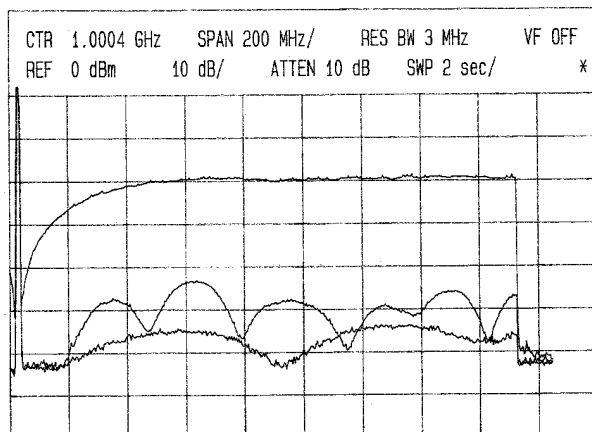


Abb. 14: Vorlauf und Rücklauf im Bereich von 10 bis 1700 MHz gemessen mit NARDA-Richtkoppler Type 4242-20

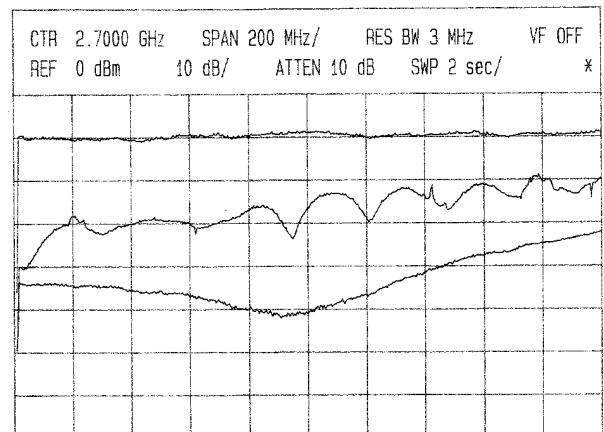


Abb. 15: Vorlauf und Rücklauf im Bereich von 1,7 bis 3,7 GHz gemessen mit NARDA-Richtkoppler Type 4243-10

In beiden Bildern ist die obere Kurve der Vorlauf des jeweils verwendeten Richtkopplers, die mittlere Kurve stellt den Rücklauf der Kunstantenne dar und die untere Kurve gilt für den Rücklauf bei Anschluß eines guten Abschlußwiderstandes direkt am Richtkoppler (dies stellt den bestmöglichen Fall dar, der sich mit den vorhandenen Mitteln erreichen läßt)

Man sieht beim Vergleich mit den Abb. 7 und 8, daß im Bereich von 10 MHz bis 2,5 GHz der Rücklauf um zumindest 5 dB besser geworden ist als bei der Ausführung mit Streifenleitung, im unteren Bereich sogar um etwa 10 dB!! Damit ist diese Kunstantenne auch für den 13-cm-Bereich bestens geeignet.



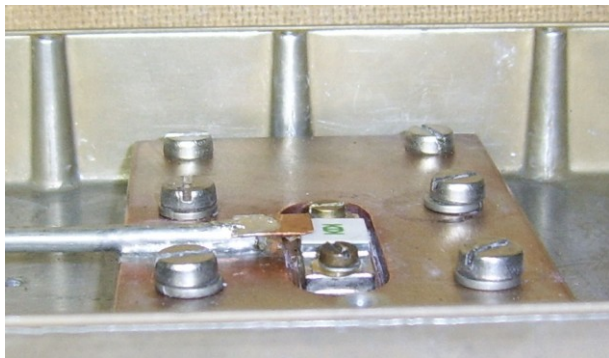


Abb. 16: Anordnung beim Übergang von der HF-Leitung auf den Widerstand mit aufgelötetem Kompensationsplättchen

Erreicht hat Eike dieses schöne Ergebnis durch Auflöten eines Plättchens im Bereich des Überganges von der Semi-Rigid-Leitung auf den Widerstand – gewußt, wie!

Bild 16 zeigt, wie er das gemacht hat.

Was kaum zu sehen, aber vielleicht auch wichtig ist: Die Anschlußfahne des Widerstandes liegt auf der Oberseite des Innenleiters der Semi-Rigid-Leitung, sodaß sich die Kapazität zwischen Plättchen und Anschlußfahne durch vorsichtiges Zurechtbiegen des Plättchens auf den passenden Wert justieren läßt.

Zum Abschluß haben wir noch zwei Erwärmungsläufe durchgeführt, um die thermische Leistungsfähigkeit der Anordnung zu prüfen. Der erste Versuch wurde in bewährter Weise mit Netzfrequenz bei 250 W unternommen und nach einer entsprechenden Abkühlpause der zweite mit 200 W, um einen Vergleich mit der vom Verfasser gebauten Kunstantenne zu ermöglichen. Dabei hat sich herausgestellt, daß der Temperaturanstieg in beiden Fällen etwas rascher und in anderer Form erfolgt als beim Prototyp.

Ein Grund dafür könnte die Verwendung einer anderen Wärmeleitpaste sein, die einen größeren Wärmewiderstand zur Folge hat. An der mechanischen Anordnung wird es wahrscheinlich nicht liegen, denn die in Frage kommenden Flächen von Kupferplatte und Kühlkörper wurden sorgfältig von Unebenheiten befreit. Ebenso ist die Schraubverbindung zwischen den beiden Teilen sehr massiv, wie Abb. 16 zeigt.

Ob es am KDI-Lastwiderstand liegt, muß ebenfalls noch untersucht werden, denn Eike hat die Version mit grüner Beschriftung eingebaut. Dessen Isoliermaterial besteht aus Aluminiumoxid und er ist für 200 W spezifiziert. Im Gegensatz dazu hat das GPL-Exemplar einen Widerstand mit roter Beschriftung, der 250 W verträgt und bei dem Berylliumoxid verwendet ist.

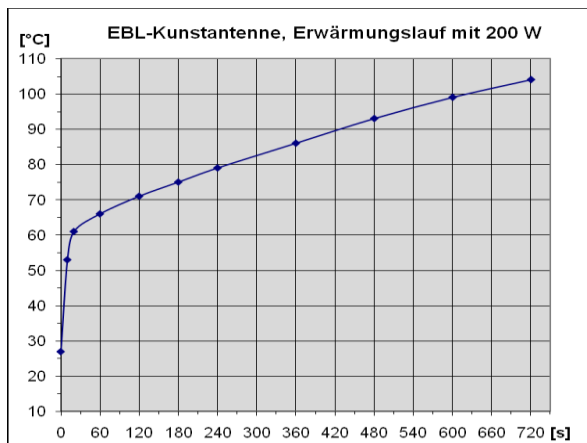


Abb. 17: Erwärmungslauf mit 200 W

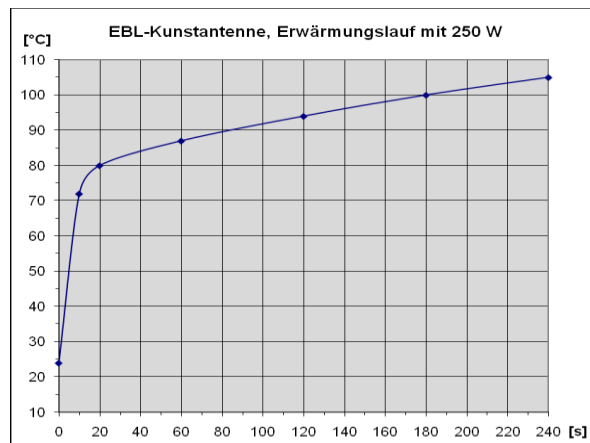


Abb. 18: Erwärmungslauf mit 250 W

Daraus läßt sich die Erkenntnis ableiten, daß für Projekte, bei denen es auf bestmögliche Wärmeleitung ankommt, auch die richtige Wahl der Wärmeleitpaste von Bedeutung ist – ein Punkt, den man leicht übersieht, der aber auf die Leistungsfähigkeit großen Einfluß hat.

In den nächsten Monaten finden wieder einige amateurfunkspezifische Flohmärkte statt, auf denen ziemlich sicher auch solche Lastwiderstände angeboten werden, wie sie hier verwendet worden sind. Wer also eine ganz vorzügliche Kunstantenne zu Mini-Kosten bauen will, der sollte dort Ausschau halten und zugreifen!

## 2. Nachtrag (Juli 2008)

Im Zuge einer Untersuchung betreffend die Wirksamkeit von Wärmeleitpasten hat sich gezeigt, daß es bessere als die ursprünglich verwendete gibt; die wirksamsten sind hier ausprobiert worden. Die nachstehend beschriebene Versuchsreihe zeigt am Gerät des Verfassers die ermittelten Unterschiede auf. Die erreichte Meßgenauigkeit ist nicht allzu hoch, weil es schwierig ist, den Typ-K-Temperaturfühler an einer Meßstelle so anzubringen, daß er die Temperatur möglichst genau erfaßt, sich aber trotzdem rasch an andere Meßstellen verlegen läßt. In diesem Fall wurde der mit einem Stück Schrumpfschlauch auf gut 10 cm thermisch isolierte Fühler von Hand in die Kerbe der Kreuzschlitzschrauben und in ein Loch im Kühlkörper gedrückt. Die Meßergebnisse erlauben trotz der Ungenauigkeiten Rückschlüsse auf das Wärmeleitvermögen der Pasten und der Gesamtanordnung.

Pasten:

ELECTROLUBE HTC

AKASA AK-450

FISCHER WLPG

Meßpunkte:

A: Flansch des Widerstandes

B: Kupferplatte knapp neben Widerstand

C: Kühlkörper knapp neben Kupferplatte

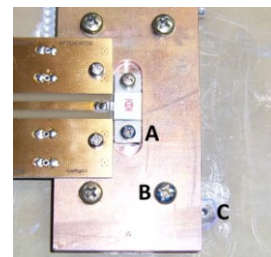


Abb. 19, rechts: die Temperaturmeßpunkte

Es wurde ausschließlich der Übergang zwischen Widerstand und Kupferplatte verändert, zwischen Platte und Kühlkörper blieb alles so, wie es war.

In den Diagrammen ist zum Vergleich auch die ursprünglich aufgenommene Temperaturkurve eingetragen, die allerdings nach dem heutigen Kenntnisstand nicht ganz richtig sein kann: die damals gemessenen Temperaturen müßten etliche Grad höher liegen.

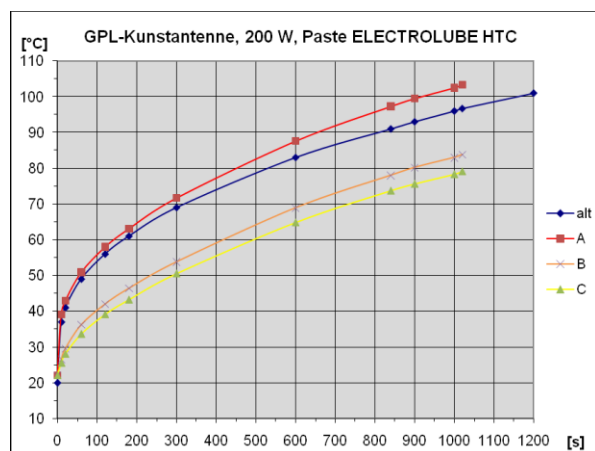


Abb. 20: Erwärmungslauf 1

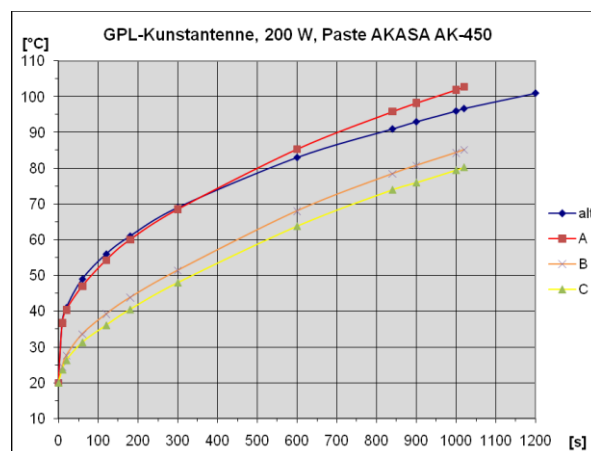


Abb. 21: Erwärmungslauf 2

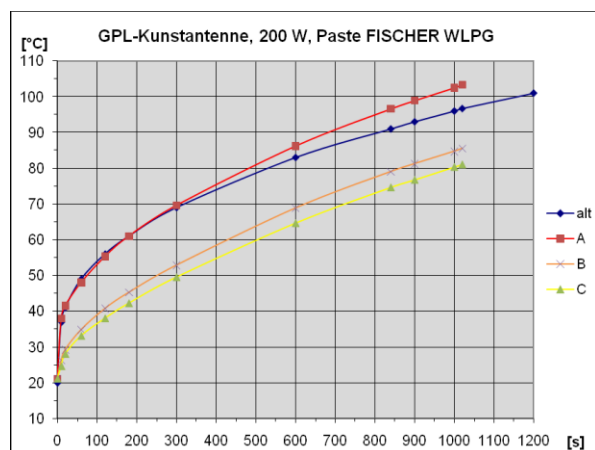


Abb. 22: Erwärmungslauf 3

Nicht alle gemachten Erwärmungsläufe sind hier dokumentiert. In einem Fall ist die Temperatur des Widerstandes deutlich rascher angestiegen als bei den vorherigen Versuchen.

Die Nachschau hat unter der Lupe gezeigt, daß sich ein winziger Metallspan auf der Trennfläche befand, der zur Folge hatte, daß der Pastenfilm dicker war als sonst.

Die Lehre aus der Geschichte: Es kommt bei thermisch hoch beanspruchten Bauteilen auf äußerste Sorgfalt beim Umgang mit Wärmeleitpaste und beim Zusammenbau an!

## Ergebnis

Bei den nachstehenden Überlegungen betrachten wir den willkürlich gewählten Zeitpunkt von 1000 s. Als Maß für die Güte der Eigenschaft, Wärme zwischen zwei Körpern zu übertragen, dient der Wärmewiderstand  $R_{th}$ :  $R_{th} = \text{Temperaturdifferenz zwischen zwei Körpern } [^{\circ}\text{C}] / \text{Leistung } [\text{W}]$

Aus den Diagrammen erhalten wir dann folgende Zusammenhänge:

ELECTROLUBE HTC

AKASA AK-450

FISCHER WLPG

$$R_{th \text{ A-B}} = (102,4 - 83) / 200 \\ = 0,097 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{th \text{ A-B}} = (101,9 - 84,3) / 200 \\ = 0,088 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{th \text{ A-B}} = (102,5 - 84,7) / 200 \\ = 0,089 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{th \text{ B-C}} = (83 - 78,3) / 200 \\ = 0,0235 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{th \text{ B-C}} = (84,3 - 79,5) / 200 \\ = 0,024 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{th \text{ B-C}} = (84,7 - 80,1) / 200 \\ = 0,023 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

Die so errechneten Wärmewiderstände  $R_{th \text{ A-B}}$  sind nicht genau jene, welche in der Anordnung tatsächlich vorliegen, denn die Temperatur ist nach 1000 s noch weit von der Beharrungstemperatur entfernt. Sie erlauben aber schon eine Aussage zur wesentlichen Eigenschaft der verglichenen Pasten.

Am Wärmeübergang B-C hat sich während der ganzen Messungen nichts geändert, die geringen Unterschiede sind eindeutig auf Meßunsicherheiten zurückzuführen. Er findet sehr großflächig statt und hat aus diesem Grund einen sehr kleinen Wärmewiderstand, der eine geringe Temperaturdifferenz zur Folge hat. Deshalb ist er viel weniger kritisch und erlaubt dort die Verwendung normaler und kostengünstiger Paste.

Ganz anders sieht es beim Übergang A-B aus, der auf einer vergleichsweise winzigen Fläche stattfindet (nur ca.  $9 \times 24 \text{ mm}^2$ ) und durch eine bessere Paste deutlich an Wirksamkeit gewinnt. Die Kosten spielen in diesem Fall eine untergeordnete Rolle, weil nur ganz wenig Paste gebraucht wird. AK-450 und WLPG sind bei diesem Anwendungsfall die bessere Wahl und annähernd gleichwertig.

Eine weitere Erkenntnis: der stark unterschiedliche Verlauf der Erwärmungskurven bei den beiden untersuchten Kunstantennen läßt darauf schließen, daß beim EBL-Exemplar die Wärmeleitung doch nicht so gut funktioniert, wie sie sollte. Erst wenn der Temperaturunterschied groß genug ist, geht dort die erzeugte Wärme in ausreichendem Maß auf den Kühlkörper über und der Temperaturanstieg flacht ab. Wie weit diese Überlegung stimmt, wird ein weiterer Versuch zeigen, bei dem die Trennflächen von Widerstand, Platte und Kühlkörper genauer untersucht und, falls erforderlich, nachgearbeitet werden sollen. Auf das Ergebnis sind wir schon neugierig...

Weil es gerade leicht gegangen ist, wurde die Rückflußdämpfung des GPL-Exemplars bei der Gelegenheit mit einer ZRB-Meßbrücke nochmals überprüft. Das Ergebnis zeigt Abb. 23.

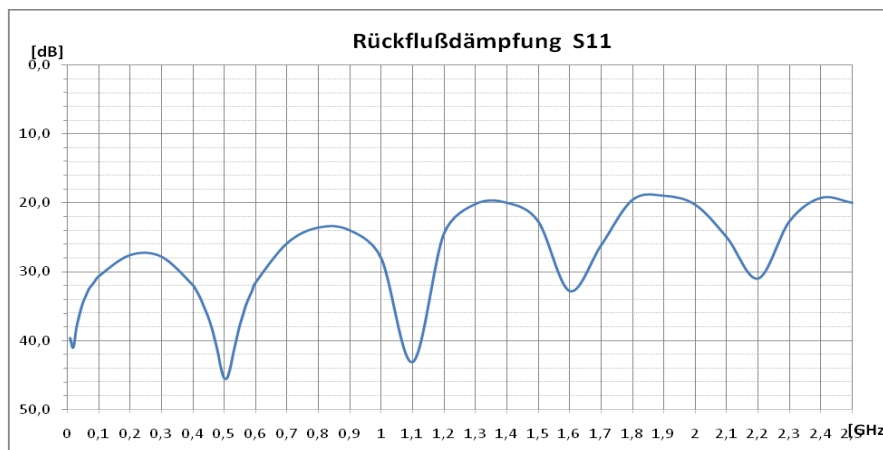


Abb. 23: Rückflußdämpfung

In den für den Amateurfunk interessanten Bereichen ist die Anpassung an den 50-Ohm-Systemwiderstand dieser Messung nach durchaus zufriedenstellend:

145 MHz	28 dB entsprechend einem SWV von	1,08
435 MHz	36 dB	1,04
1260 MHz	21 dB	1,20
2400 MHz	19 dB	1,25

### 3. Nachtrag (Jänner 2012)

Das Exemplar von OE5EBL wurde zerlegt, wobei sich herausgestellt hat, daß sowohl die Flächen zwischen Kupferplatte und Kühlkörper als auch die zwischen Widerstand und Kupferplatte keineswegs eben waren. Die Wärmeleitpaste hat sich deswegen recht ungleichmäßig verteilt, wie Abb. 24 zeigt, obwohl die Platte von 8 Stk. M5-Schrauben angepreßt wird; offensichtlich hilft das nicht viel. Bei der Kontrolle des Widerstandes hat sich gezeigt, daß die Unterseite in der Mitte geringfügig nach oben gewölbt war, was ein wesentlicher Grund für den schlechten Wärmeübergang gewesen ist.

Nach gründlicher Reinigung sind alle vier Flächen auf einer Fräsmaschine sehr sorgfältig nachgearbeitet worden, wobei nirgends mehr als 0,1 mm abgetragen wurde. Beim neuerlichen Zusammenbau ist auf bestmögliche Sauberkeit der Flächen geachtet worden. Zwischen Widerstand und Platte wurde FISCHER WLPG verwendet, die sich schon beim Abschwächer [4] sehr gut bewährt hat, zwischen Platte und Kühlkörper normale weiße Wärmeleitpaste. Die Pasten sind recht sparsam als kleine Klümpchen punktuell mit einem 3-mm-Schraubendreher aufgetragen worden. Beim Zusammenbau wurde dann sichtbar, daß es beim Widerstand etwas zuviel und bei der Platte vielleicht etwas zuwenig war - beim Spalt zwischen Platte und Kühlkörper ist nur an wenigen Stellen Paste ausgetreten. Aufgrund folgender Überlegung wurde dieser Zustand für die Messung so belassen:

Die weiße Paste ist nicht mehr frisch und deswegen in ihrer Konsistenz nicht mehr ganz so weich wie am Anfang. Die Klümpchen werden entsprechend ihrer Größe beim Zusammenpressen zu mehr oder weniger großen Flecken, die Luft kann dazwischen entweichen (hoffentlich!) und die Schicht wird dünn. Trägt man die Paste von vornherein großflächig auf, dann ist nicht auszuschließen, daß sich Lufteinschlüsse bilden. Zudem reicht dann die Preßkraft nicht aus, um bei der vergleichsweise großen Fläche eine ganz dünne Schicht zu erhalten. Deshalb lieber eine dünne Schicht, die nicht überall hinkommt, als eine vollflächige, die dicker ist.

Beim Widerstand ist diese Überlegung hinfällig, weil seine Fläche weitaus kleiner und damit die Flächenpressung viel größer ist – die Paste wird hier sicher auf die geringstmögliche Dicke zusammengepreßt. Alle Schrauben wurden sicherheitshalber nach einigen Stunden nachgezogen.

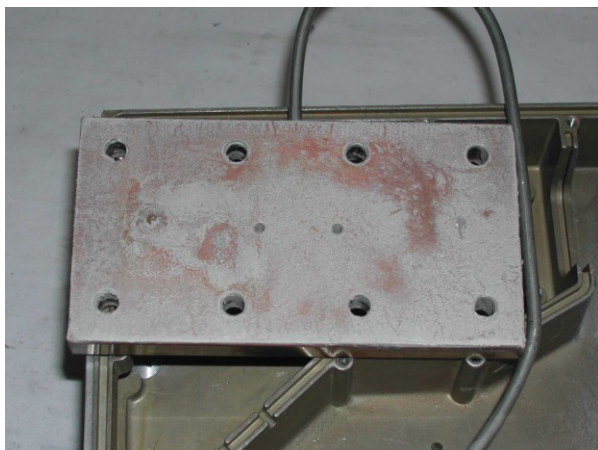


Abb. 24: Ungleichmäßig verteilte Wärmeleitpaste

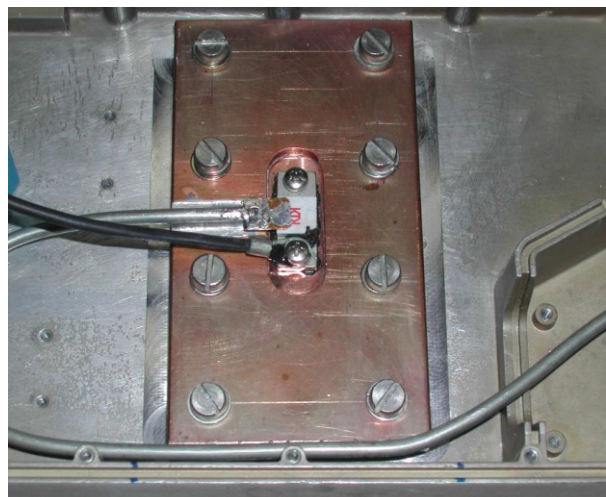


Abb. 25: Anordnung der Temperaturmeßstelle



## 250-W-Kunstantenne

Abb. 25 zeigt, wie die Temperaturmeßstelle diesmal ausgeführt war: Unter einer der beiden Befestigungsschrauben des Widerstands ist ein Kerkabelschuh aus Kupfer eingeklemmt, in dem das Typ-K-Thermoelement steckt. Seine Spitze ist so gebogen, daß sie auf die Öse des Kabelschuhs drückt. Zur besseren Wärmeübertragung war noch ein Klecks WLPG drauf. Diese Anordnung ist nicht perfekt, aber mit einfachen Mitteln herzustellen.

Der Erwärmungslauf ist in schon bewährter Weise mit 50 Hz Netzfrequenz durchgeführt worden. Das Ergebnis macht überzeugend deutlich, daß ebene, glatte und saubere Flächen zum Erreichen der bestmöglichen Wärmeleitung notwendig sind.

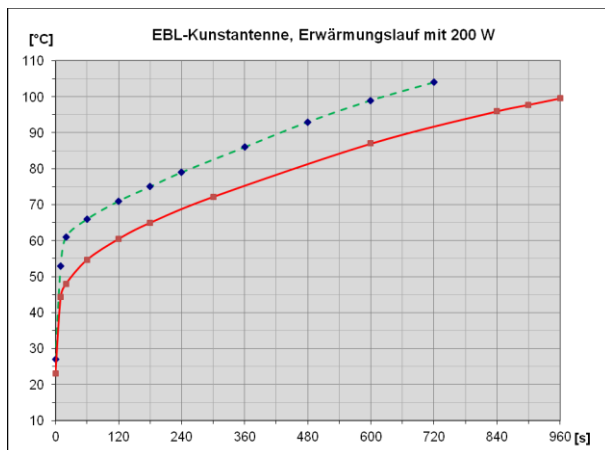


Abb. 26: Erwärmungslauf mit 200 W

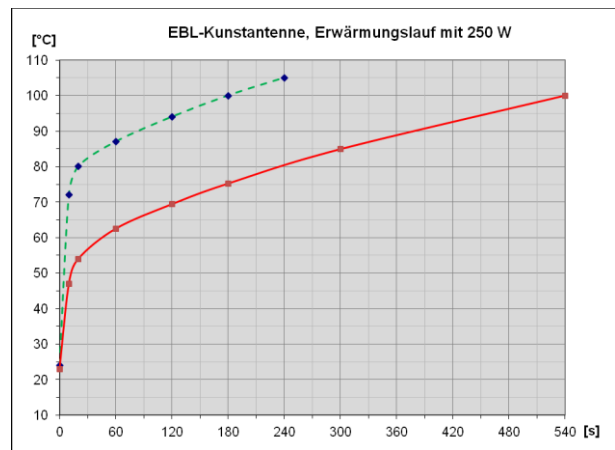


Abb. 27: Erwärmungslauf mit 250 W

Die nicht unterbrochenen Kurven zeigen den derzeitigen Zustand, die unterbrochenen den alten zum Vergleich. Daß die Widerstände unterschiedlich sind (alt -> grün, neu -> rot beschriftet), tut in diesem Fall nichts zur Sache, weil nur der Wärmewiderstand zwischen Chip und Flansch anders ist. Weil die Temperatur am Flansch gemessen wurde, sind die Messungen durchaus vergleichbar. Vergleicht man die neue Kurve bei 200 W Verlustleistung mit Abb. 22, so zeigt sich jetzt gute Übereinstimmung. Das Problem lag also am schlechten Wärmeübergang vom Widerstand auf den Kühlkörper, der durch Unebenheiten verursacht worden ist.

Für den praktischen Betrieb ist die Verbesserung gewaltig: Der Zeitraum bis zum Erreichen von 100 °C hat sich bei 200 W von 10 auf 16 Minuten und bei 250 W gar von 3 auf 9 Minuten vergrößert. Daher einmal mehr die Erkenntnis: Bei thermisch hoch belasteten Bauteilen mit kleiner Grundfläche ist die beste Wärmeleitpaste gerade gut genug; zum Glück braucht man bei solchen Bauteilen nicht viel.

Zum Abgleich mit der Lötflamme zwecks Verbesserung der Anpassung schreibt OE5EBL:

„Messmittel:

Generator HP8350B mit Einschub 0.01 – 2 GHz (funktioniert bis 2,447 GHz); SPA HP 8569B; Wiltron SWR Brücke 60NF50, wobei die Brücke bis 2,5 GHz eine Richtschärfe von >40 dB hat (mit Meßwiderstand Spinner BN193690 1W 50 Ohm, 18 GHz).

Ergebnis:

36 dB @ 145 MHz, 26 dB @ 435 MHz, 20 dB @ 1250 MHz, 23 dB @ 1300 MHz, 22 dB @ 2400 MHz, 20 dB @ 2447 MHz. Der Widerstand der Kunstantenne ist um etwa 0,25 bis 0,3 Ohm niedriger als der Spinner Meßwiderstand.

Beim Wobbeln zeigt sich die übliche Kurve mit Min/Max, wobei die Minima einen Abstand von etwa 260 MHz sowie einen Einzug bis zu 30 dB haben. Die Maxima sind meist besser als 20 dB, bei 1250 MHz und 2447 MHz sind die Werte am geringsten. Der Abstand von etwa 260 MHz ergibt sich aus der Länge des verwendeten Semirigid-Kabels von 0,39 m.

Versuche mit der Kompensation durch eine Blechfahne (Kapazität) ergaben: Größeres C → Verbesserung im Bereich über 1,5 GHz: etwa 2-3 dB. Kleineres C →

## 250-W-Kunstantenne

Verbesserung im Bereich unterhalb von 1,5 GHz um 2-3 dB jeweils bei den Maxima, die Minima ändern sich dabei wesentlich stärker.

Schlussfolgerung:

Bei der Eigenbau-KA kann bei einem sorgsamem Aufbau mit dem Semirigid-Kabel sofort eine sehr gute Anpassung bis über 13 cm hinaus erzielt werden. Eine Verbesserung läßt sich vielleicht noch durch Selektion des Widerstandes erreichen, weil die Kompensation mit dem Blechfähnchen nur eine kleine mögliche Änderung zeigt."

### 4. Nachtrag (Dezember 2014)

Und noch zwei weitere Exemplare mit anderen Wärmeverteilterplatten...

Weil bei mir sowohl ein weiterer Kühlkörper als auch ein Reservewiderstand vorrätig waren und OE5PSO im Herbst 2014 in Eggenfelden Widerstand und Festmantelkabel mit bereits angebaute N-Buchse zu einem Preis bekommen hat, dem er nicht widerstehen konnte, haben wir zwei weitere Geräte angefertigt. Sie werden in der Folge als „GPL2“ und „PSO1“ benannt und der Prototyp als GPL1. Die Meßergebnisse ihrer wesentlichen Eigenschaften sind nachstehend angeführt.

Änderungen gegenüber der Ausführung der beiden ersten Exemplare:

- Die Kabel sind im Gegensatz zum Exemplar EBL diesmal nicht an den Kupferplatten festgelötet, sondern sie werden von einem Bügel aus Alu niedergehalten, der einen passenden Schlitz auf seiner Unterseite hat. Der ist gerade so groß, daß das Kabel darin einen sehr strammen Sitz hat und auf der Unterseite 0,1 mm übersteht. Werden die beiden Schrauben festgezogen, wird der Kabelmantel über die ganze Länge des Bügels kräftig gegen die Kupferplatte gepreßt.
- Der Innenleiter des Kabels steht knapp 4 mm vor und ist leicht schräg nach oben gebogen, sodaß er auf der für den thermischen Längenausgleich zurechtgebogenen Fahne des Widerstandes zu liegen kommt (Abb. 29). Beim Löten ist nur so viel Zinn aufzutragen, daß ihr senkrechter Teil davon weitgehend frei bleibt.
- Die Abgleichfahne ist ebenfalls nicht angelötet - so wird das Experimentieren einfacher. Die beiden kurzen M2,2-Schrauben im niederen Teil des Bügels sind jederzeit ohne Umstände lösbar.
- Die Unterseiten der Widerstände wurden von vornherein plangefräst, wobei etwa 0,05 mm abgetragen wurden; die bearbeiteten Flächen sind fast so glatt, als ob sie poliert wären. Als Wärmeleitpaste kam dort wiederum WLPG zum Einsatz.
- Bei GPL2:
  - Größere, aber dünnere Kupferplatte (100\*90\*6 mm anstatt 100\*50\*10 mm).
  - Festmantelkabel UT-141A mit angebaute Einloch-N-Buchse anstatt der Leiterplatte. Damit entfällt das Wegfräsen der Trennwand im Kühlkörper. Bei manchen Buchsen ist es zudem nicht mehr nötig, hinter der Stirnwand eine Vertiefung auszufräsen, damit der Buchsenkragen Platz hat.
  - Der Schlitz, in dem ursprünglich die vielpolige Anschlußbuchse befestigt war, ist breit genug, daß sich die N-Buchse ohne Nacharbeit genau passend durchstecken läßt (solche Buchsen haben am Gewindeteil als Verdrehschutz eine beidseitige Abflachung).

Ergebnisse bei GPL2:

Beim Erwärmungslauf mit 200 W ist in den Diagrammen zum leichteren Erkennen eines Unterschieds auch die Kurve „A“ aus Abb. 22 eingetragen (GPL1). Die fast quadratische Platte bringt die Wärme wegen der größeren Oberfläche besser auf den Kühlkörper, sodaß die 100 Grad C bei nahezu gleichem Kupfergewicht erst 3 Minuten später erreicht werden - eine Verbesserung um fast 20 %.

## 250-W-Kunstantenne

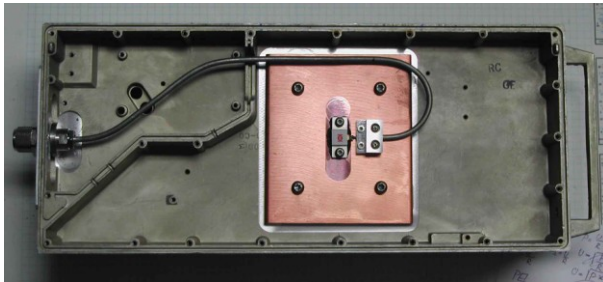


Abb. 28: Innenansicht Exemplar GPL2

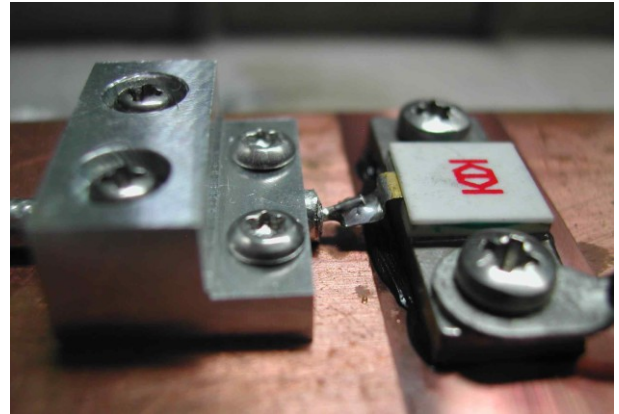


Abb. 29, rechts: Lötstelle Kabel - Widerstand

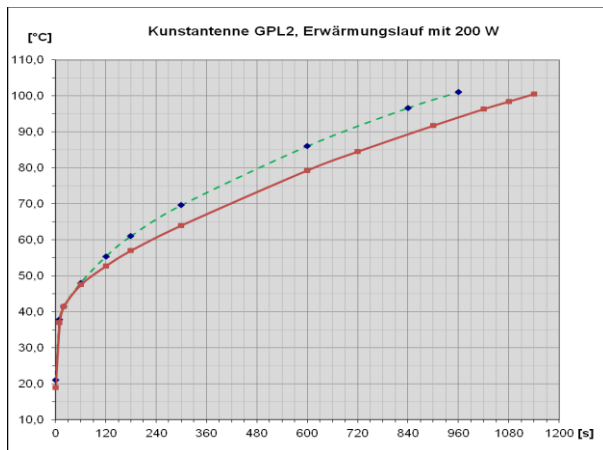


Abb. 30: Erwärmungslauf mit 200 W

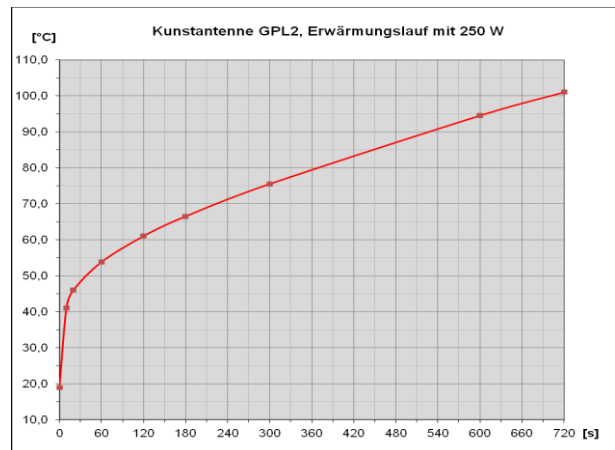


Abb. 31: Erwärmungslauf mit 250 W

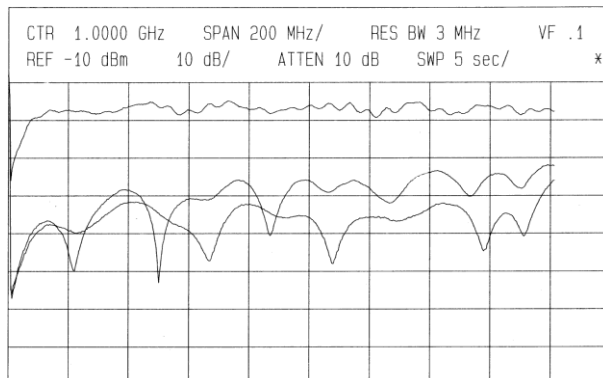


Abb. 32: Rückflußdämpfung von 10 MHz bis 1,8 GHz

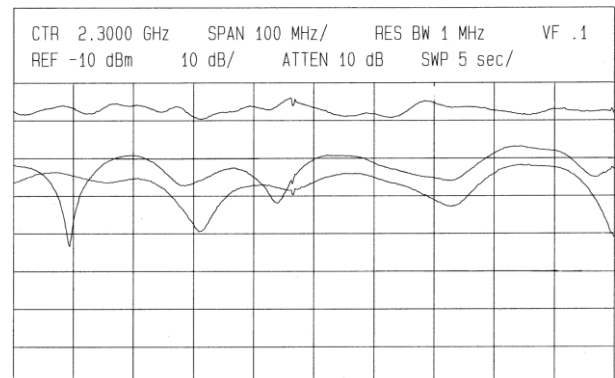


Abb. 33: Rückflußdämpfung von 1,8 GHz bis 2,8 GHz

Eine Kompensation der Zuleitungsinduktivität am Übergang vom Kabel auf den Widerstand ist überraschend wirksam: Die Fingerprobe zeigt eine Verbesserungsmöglichkeit von bis zu 10 dB, mit einer zu-rechtgeschnittenen und passend gebogenen Blechfahne lassen sich ca. 5 dB erreichen. Als Material eignet sich ein Stückchen 0,4-mm-Weißblech - eine gute Kombination aus Festigkeit und der erforderlichen Biegsamkeit. Die obere Kurve in Abb. 32, 33, 37 und 38 ist Totalreflexion, die mittlere ohne Kompensation und die untere mit Kompensation.

- Bei PSO1:
  - Festmantelkabel SUCOFLEX 141 mit ähnlicher Buchse wie bei GPL2
  - Sehr lange, aber schmale Kupferschiene mit 250\*50\*10 mm, die teilweises Entfernen der Trennwand notwendig gemacht hat.

## 250-W-Kunstantenne

### Ergebnisse bei PSO1:

Die Zeit bis zum Erreichen der 100 Grad C ist fast dieselbe wie bei GPL2. Im Exemplar PSO1 ist aber bedeutend mehr Kupfer verbaut: Die annähernd quadratische Platte wiegt 482 g, das lange Stück hingegen 1115 g; das macht die Platte zur wirtschaftlicheren Lösung.

Die Form der Kupferstücke hat jedoch einen (wenn auch geringen) Einfluß auf den Verlauf des Temperaturanstiegs:

- Das quadratische bringt wegen der großen Fläche anfangs die Wärme besser in das unter ihr befindliche Aluminium, der Temperaturanstieg ist deswegen flacher. Ab etwa 75 °C Flanshtemperatur ist der große Kühlkörper in diesem Bereich schon sehr warm und damit das Temperaturgefälle zwischen Platte und Alu klein - der Wärmefluß zum Kühlkörper wird geringer. Wegen seiner gegenüber dem Kupfer schlechteren Wärmeleitfähigkeit werden seine Enden zudem nur langsam warm, was insgesamt einen rascheren Temperaturanstieg am Flansch zur Folge hat.
- Die langgestreckte Form bringt wegen der kleineren Fläche in der Umgebung des Widerstands anfangs weniger Wärme in den Kühlkörper, die Temperatur steigt rascher an. Die Wärme im Kupfer gelangt aber schneller bis an die Enden und erwärmt dort das Aluminium besser. Ab 75 °C ist der Temperaturanstieg deswegen langsamer als bei der Plattenvariante.

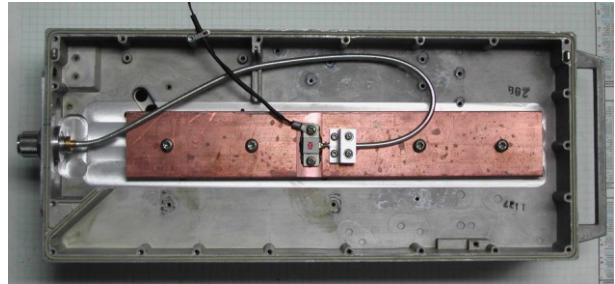


Abb. 34:Innenansicht Exemplar PSO1

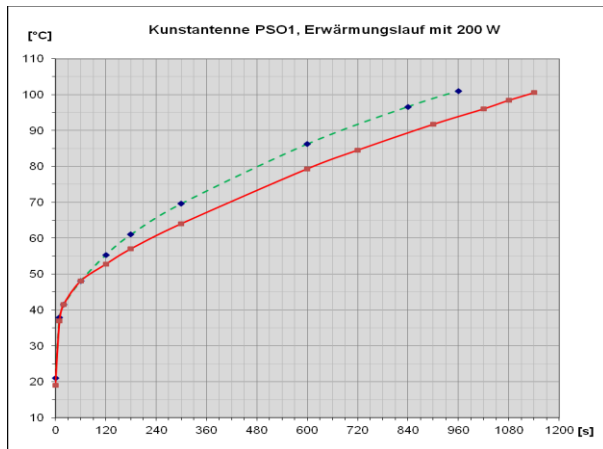


Abb. 35: Erwärmungslauf mit 200 W

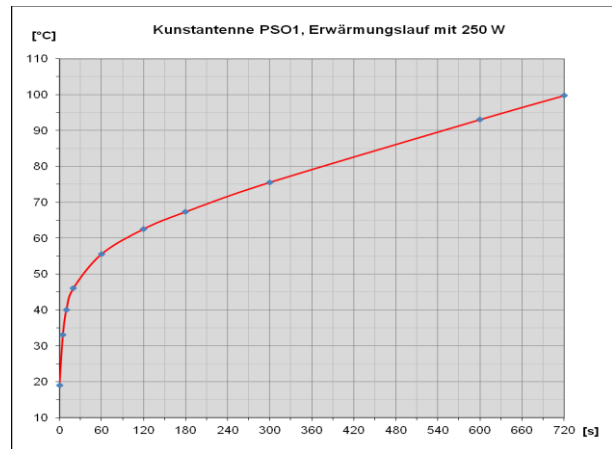


Abb. 36: Erwärmungslauf mit 250 W

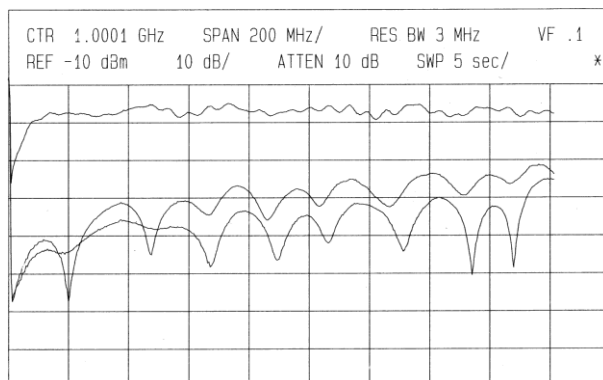


Abb. 37: Rückflußdämpfung von 10 MHz bis 1,8 GHz

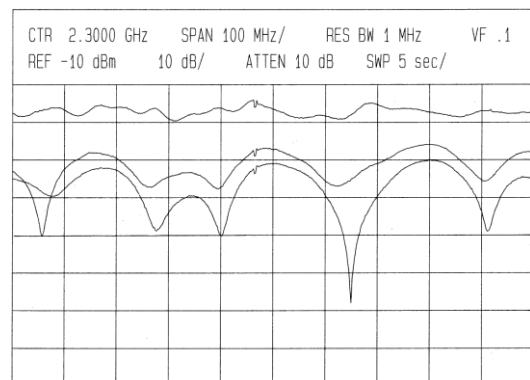


Abb. 38: Rückflußdämpfung von 1,8 GHz bis 2,8 GHz



## 250-W-Kunstantenne

Zum Schutz der Möbel hat das Gerät GPL2 auf der Bodenplatte vier mit Schrauben befestigte Gummipuffer bekommen, die eine im Langzeitbetrieb entstehende Temperatur von etwa 80 °C aushalten.

Bei einem Nachbau der Kunstantenne wird man zur Sicherheit einen Erwärmungslauf machen und das Ergebnis mit den Kurven in Abb. 30 und 31 vergleichen. Nur dann bekommt man Gewißheit, ob die Wärmeleitung so funktioniert, wie sie soll. Ist das nicht der Fall, weil sich ein kaum sichtbarer Fremdkörper zwischen die Trennflächen geschmuggelt hat, dann stirbt bei voller Belastung der Widerstand früher oder später den Hitzetod.

Vergleicht man die Werte mit den auf Seite 1 angepeilten Eckdaten, dann ist das erreichte Ergebnis bei allen Exemplaren ein voller Erfolg:

CW-Verlustleistung: 250 W aus dem kalten Zustand je nach Bauart für 9 bis 12 Minuten anstatt für 5. Bei 200 W dauert es bei allen Exemplaren wenigstens 15 Minuten, bis die Flanschttemperatur des Widerstandes 100 °C erreicht. PSO1 und GPL2 vertragen diese Leistung sogar 19 Minuten lang, ohne zu überhitzen.

Rückflußdämpfung: Bis 2,5 GHz besser als 17 dB entsprechend einem VSWR von 1,33 anstatt zumindest 14 dB bis 2 GHz.

Damit wäre das Projekt eigentlich abgeschlossen. Das dem Beitrag beiliegende Datenblatt *dl-KDI01.pdf* gibt allerdings den Hinweis, daß die Impulsbelastbarkeit des Widerstandes 4 kW beträgt, wobei die Impulsdauer leider nicht angegeben ist. Immerhin heißt das aber, daß ein solches Bauteil kurzzeitig auch mehr als 250 W verträgt, ohne Schaden zu nehmen. Absolute Grenzen sind die Temperatur der Widerstandsschicht von 150 °C, die Stromtragfähigkeit der Anschlußfahne und die Trägheit des Wärmeflusses in den Materialien Kupfer und Aluminium. Unter Beachtung dieser bauteilspezifischen Eigenheiten erscheint ein weiterer Versuch bei höherer Leistung durchaus sinnvoll.

Mit der bisherigen Ausführung der Kunstantenne wird der Temperaturanstieg bei Überlast sehr rasch erfolgen und deshalb die Zeit für Arbeit an der zu prüfenden Endstufe ziemlich kurz sein; das Abkühlen dauert hingegen recht lange. Um die Wärme besser abzuführen, ist Fremdkühlung mit Ventilatoren möglich, was allerdings eine externe Niederspannungs-Stromversorgung notwendig macht. So wird die Zeit bis zum Erreichen der Grenztemperatur verlängert und das Abkühlen geht weitaus rascher vor sich.

Der Kühlkörper bietet gerade genug Platz für zwei auf den Kühlrippen angebaute 120-mm-Ventilatoren (Abb. 39). Sie wurden beim Gerät GPL2 auf zwei 240 mm langen Aluwinkeln mit den Maßen 15\*25\*1,5 mm (Selbstanfertigung oder ähnliches Material aus dem Baumarkt) mittels kurzer M4-Schrauben befestigt. Die Winkel sind mit den äußeren Kühlrippen verschraubt, wozu in die runden Verdickungen M3-Gewinde gebohrt wurden; das Material des Kühlkörpers läßt sich prima bearbeiten. Damit Winkel und Lüfter schön aufliegen, sind die Verdickungen vorher auf gleiche Länge zu bringen.

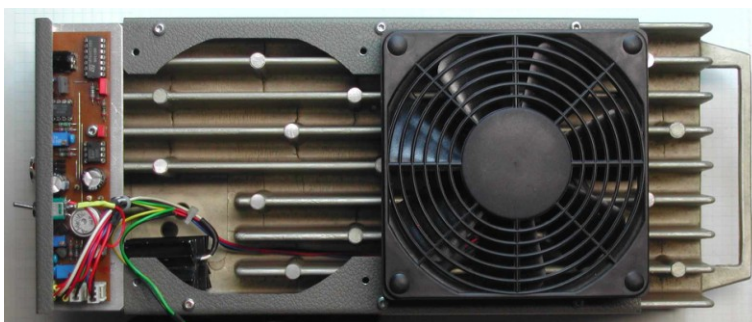


Abb. 39: Anbau der Ventilatoren (Leiterplatte ist ein Versuchsmuster)

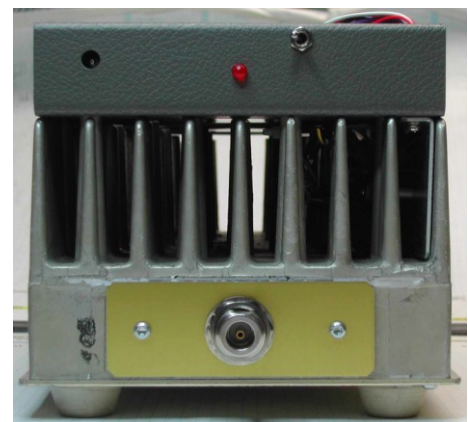


Abb. 40, rechts: Buchsenseite der KA

Der elektrische Teil ist auf einer kleinen Leiterplatte untergebracht, die durch den auf der Buchsenseite oben angebrachten Blechwinkel gehalten und geschützt wird (Abb. 39 und 40). Die Stromversorgung übernimmt ein Schaltnetzteil mit 12-V-Ausgang und 5,5-mm-Hohlstecker, wie es für manche Bildschirme notwendig ist. Kräftige Ventilatoren nehmen bei Vollast je nach Type zusammen bis zu 1 A auf, beim

## 250-W-Kunstantenne

Gerät GPL2 sind es nur 450 mA. Wegen des verhältnismäßig großen Stroms sitzt der Leistungstristor Q4 auf einem separaten Kühlkörper, der in dem Bereich der Oberseite montiert ist, wo die Kühlrippen fehlen. Gehalten wird dieser Kühlkörper von einem Stückchen Blech, das auf der Unterseite jenes Blechwinkels angeschraubt ist, der die Leiterplatte trägt.

Ihre Drehzahl ist temperaturabhängig gesteuert, den Istwert liefert ein KTY10-6 oder ein Vergleichstyp, der auf der Wärmeverteilterplatte neben dem Widerstand und gegenüber seiner Anschlußfahne in einer Halterung unter Zugabe von Wärmeleitpaste montiert ist. Beim Mustergerät ist die Halterung aus einem 10 mm dicken Alu-Rundstück mit 3,5 cm Länge und einem für den Fühler passenden Sackloch angefertigt (Abb. 41). Seine Unterseite ist zwecks guter Wärmeleitung auf einer Breite von 7 mm abgeflacht. Dieser Fühler liefert gleichzeitig das Signal für einen Schwellwertschalter zum optischen und akustischen Alarm beim Erreichen der kritischen Temperatur.

Zum Anschluß des Fühlers an die Auswerteschaltung ist wegen der möglichen hohen Temperatur teflonisolierter Draht notwendig, der verdreht und mit Schrumpfschlauch gegen unbeabsichtigtes Verrutschen gesichert wird. Der Widerstandswert des Fühlers ist nach erfolgter Montage und Messen der Umgebungstemperatur zu kontrollieren: Beim gegenständlichen Gerät hat er nur die Hälfte des Sollwertes betragen; Ursache war eine Lötstelle an einem der Anschlüsse, die eine ungewollte Verbindung zum abgezwickten mittleren Anschluß des KTY81 von NXP verursacht hat.

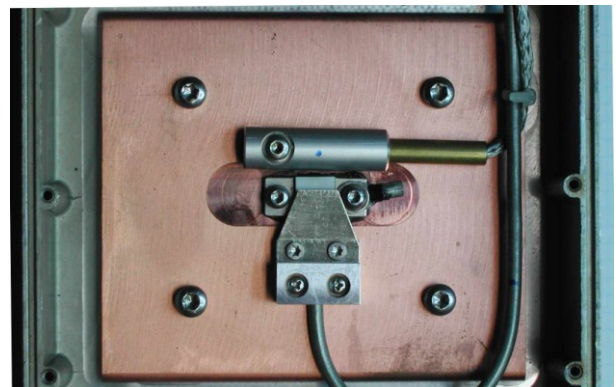


Abb. 41: Montage des Temperaturfühlers

Weil sich der Fühler ganz knapp beim Widerstand befindet, sind Maßnahmen gegen HF-Einstreuungen notwendig. Am offenen Ende der Halterung ist der HF-Schutz durch ein eingestecktes Metallrohr bis zur Festmantelleitung hin verlängert. Zusätzlich wurde von der Halterung bis knapp an die Leiterplatte das Abschirmgeflecht eines Koaxialkabels übergezogen und alles zusammen mit Kabelbindern am UT-141A-Kabel befestigt. Ob diese Abschirmung im Mikrowellenbereich noch einwandfrei funktioniert, konnte mangels entsprechender Leistung bisher nicht überprüft werden.

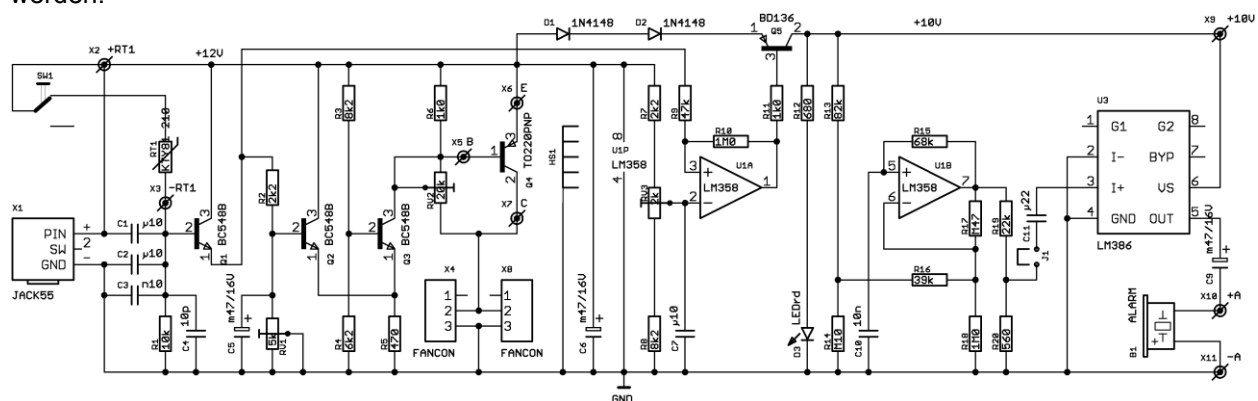


Abb. 42: Schaltung Drehzahlsteuerung und Temperaturüberwachung

Bei der Schaltung für die Drehzahlregelung handelt es sich um einen bewährten und oftmals verwendeten Vorschlag [5], der den Erfordernissen entsprechend angepaßt wurde. Die Bauteilwerte sind mit dem Simulationsprogramm LT-Spice ermittelt worden und haben in der Praxis auf Anhieb gepaßt. Beim Einschalten liegt für knapp zwei Sekunden die volle Spannung an den Lüftern, sodaß sie sicher anlaufen; anschließend geht die Drehzahl im kalten Zustand auf den eingestellten Mindestwert zurück (Abb. 43 und 44).

Mit einem kleinen Kippschalter SW1, der im Blechwinkel neben der LED angebracht ist, kann unabhängig von der augenblicklichen Temperatur auf Höchstdrehzahl umgeschaltet werden, sodaß in weniger als 15 Minuten die Abkühlung bis auf zwei Grad über der Umgebungstemperatur möglich ist; ohne diesen

## 250-W-Kunstantenne

Schalter dauert das etliche Stunden. Der akustische Alarm läßt sich durch Öffnen der Steckbrücke J1 abstellen - angenehm während der Einstellarbeiten.

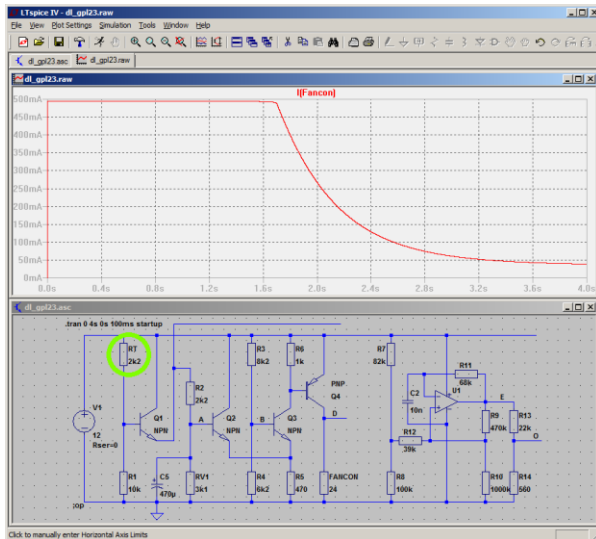


Abb. 43: Strom durch Q4 bei 37 °C (Simulation)

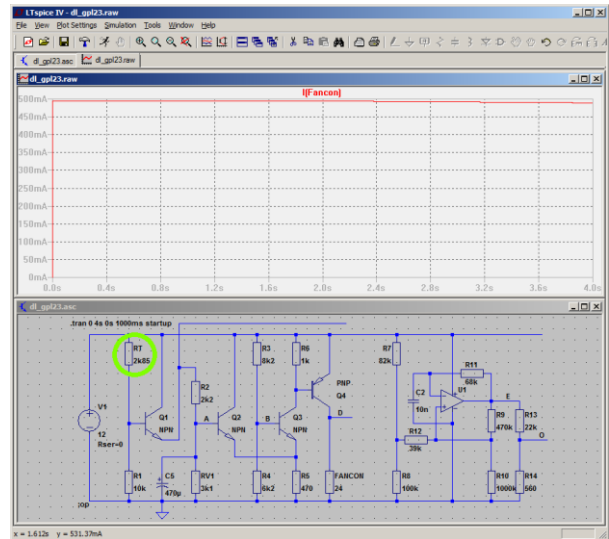


Abb. 44: Strom durch Q4 bei 75 °C (Simulation)

Für RV3 ist ein mehrgängiger Einstellregler empfehlenswert. Zum akustischen Alarm ist ein Piezohorn mit eingebautem Oszillator verwendbar (Anschluß an X9 und X11), ebenso ein Piepser ohne Oszillator und auch einer mit niederohmigem Magnetsystem, wie er auf Rechnerboards zu finden ist, funktioniert (Anschluß an X10 und X11). Die Resonanzfrequenz, bei der diese Signalgeber ihre größte Lautstärke abgeben, ist allerdings unterschiedlich. Im Mustergerät ist ein Produkt von MATSUSHITA-PANASONIC mit der Bezeichnung 14R06C eingebaut, das gerade vorrätig war und bei 2,5 kHz den größten Lärm macht. Der Oszillator U1B liefert bei dieser Frequenz ein nahezu symmetrisches Tastverhältnis.

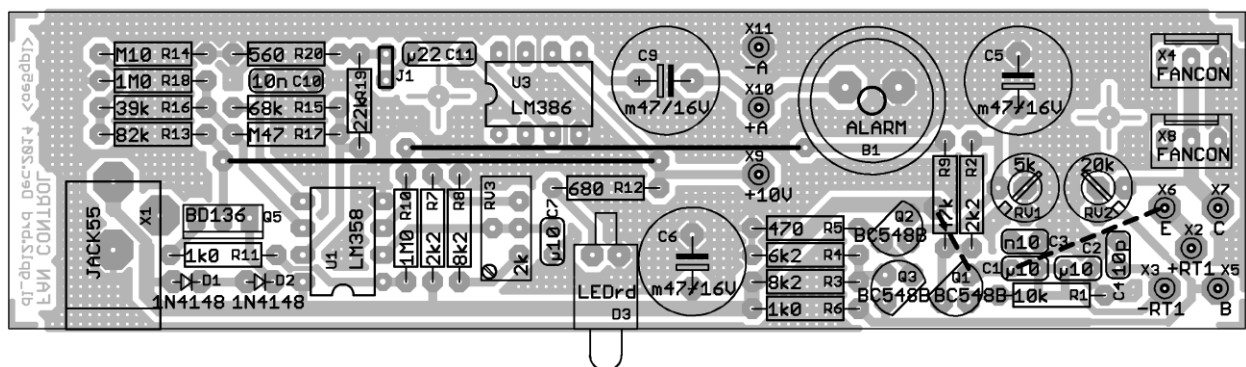


Abb. 45: Bestückungsplan Drehzahlsteuerung und Temperaturüberwachung

Der Anschluß von Leistungstransistor Q4 (ein BD244) und Temperaturfühler RT erfolgt auf der Leiterplatte mit Steckern für 1,3-mm-Stifte. Kommen Lüfter mit großer Stromaufnahme zum Einsatz, dann sollte man wegen des Spannungsabfalls die +12V-Leiterbahn von der Buchse X1 bis zu Q2 durch einen aufgelöteten 0,5-mm-Schaltdraht verstärken.

### Abgleich

- Leerlaufdrehzahl der Lüfter im kalten Zustand mit RV2:  
Dazu RV1 auf größten und RV2 auf kleinsten Widerstandswert einstellen - die Lüfter laufen dann mit voller Drehzahl. RV2 soweit vergrößern, bis sie angenehm langsam laufen.

Für die anderen beiden Einstellungen ist die Simulation des warmen Zustandes erforderlich. Dazu brauchen wir einen 5-kOhm-Spindeltrimmer mit zwei 1,3-mm-Steckern (Abb. 46), der anstatt des Fühlers angeschlossen wird und der Auswerteschaltung vorübergehend eine

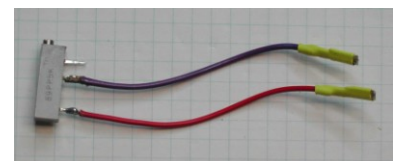


Abb. 46: Zeitweiliger Ersatz für RT1

beliebig einstellbare Temperatur vorgaukelt. Das Diagramm Abb. 47 zeigt den Zusammenhang zwischen der am Emitter von Q1 meßbaren Spannung (nicht unterbrochene, grüne Linie), der Temperatur und dem Widerstandswert (unterbrochene, rote Linie), wobei die Temperatur die gemeinsame X-Achse ist. Die Spannung läßt sich bequem an jenen Enden von R2 oder R9 abgreifen, die Q1 am nächsten liegen. Nachmessen mit dem Ohmmeter ist nicht notwendig.

- Einsatzpunkt der Drehzulanhebung bei Erwärmung mit RV1:  
Beim Mustergerät wurde der Einsatzpunkt mit 35 °C gewählt, was einer Spannung von 9,15 V entspricht. Dazu ist der Spindeltrimmer auf diese Spannung einzustellen und anschließend der Widerstand von RV1 soweit zu verringern, daß die Drehzahl gerade zu steigen beginnt (dazu Stromverbrauch des Gerätes messen!). Bei Erwärmung auf etwa 75 °C erreicht sie dann den Höchstwert, die Kollektor-Emitter-Restspannung von Q4 soll dann unter 300 mV liegen.

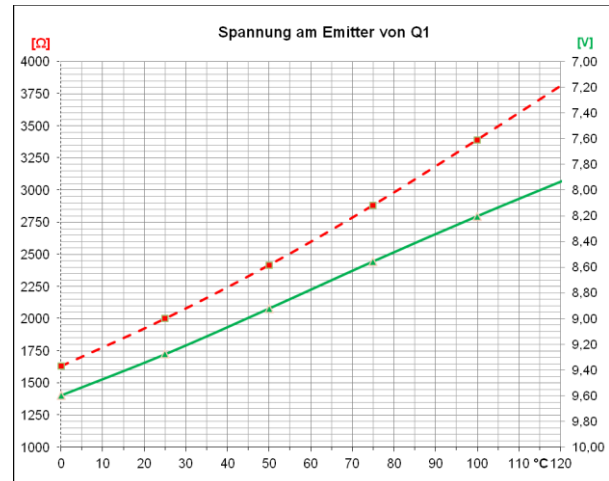


Abb. 47: Spannung und Widerstand RT1 in Abhängigkeit von der Temperatur

- Alarmschwelle mit RV3:  
Ausgehend vom Betrieb mit 200 W liegt die Temperatur der Kupferplatte entsprechend Abb. 22 ungefähr 17 °C unter der des Widerstandsflansches. Bei 250 W beträgt die Differenz dann  $(17/200) \cdot 250 = 21,25$  °C. Sie darf also höchstens 79 °C erreichen; Der Schalterpunkt wurde mit einem Sicherheitszuschlag für verzögertes Ansprechen des Fühlers auf 75 °C entsprechend einer Spannung von 8,55 V eingestellt. Die Schalthysterese beträgt etwa 100 mV, das sind 7 °C (festgelegt durch R10).

Wie weit ist das Gerät überlastbar?

Um das herauszufinden, müssen wir ein wenig kopfrechnen:

Gemäß Datenblatt ist der Widerstand bis zu einer Flanschttemperatur von 100 °C mit 250 W belastbar und hat dann in der Widerstandsschicht 150 °C (was nicht gemessen werden kann). Im Bereich zwischen 100 und 150 °C nimmt die Belastbarkeit linear ab und wird bei 150 °C zu Null. Die 250 W haben also einen Temperaturunterschied von 50 °C zur Folge, was einem Wärmewiderstand von  $50/250 = 0,2$  °C/W entspricht.

Das heißt auch, daß bei 200 W die Flanschttemperatur nach obiger Rechnung bis auf 110 °C steigen darf, ohne den Widerstand zu gefährden. Dabei wird jedoch ohne Fremdkühlung das Gerät schon so heiß, daß es nicht mehr vernünftig handhabbar ist.

Belasten wir den Widerstand mit 300 W, dann braucht er einen Temperaturunterschied von  $300 \cdot 0,2 = 60$  °C, wenn er überleben soll. Der Flansch darf dann also nur mehr höchstens  $150 - 60 = 90$  °C warm werden. Bei 350 W ergibt die Rechnung  $350 \cdot 0,2 = 70$  °C Differenz entsprechend 80 °C maximaler Flanschttemperatur.

Diese Rechnung gilt allerdings nicht für beliebig hohe Leistung, weil uns dort die Trägheit der Wärmeleitung einen Strich durch die Rechnung macht: Im Fall der 4-kW-Impulsleistung muß die innenliegende Widerstandsschicht mit ihrem Trägermaterial die gesamte Verlustwärme aufnehmen, weil die Zeit für den Übergang in den Flansch viel zu kurz ist - die dafür zulässige Zeitdauer wird im Mikrosekundenbereich liegen und nicht im Millisekundenbereich.

Die Erwärmungsläufe sind mit 350 und 300 W durchgeführt worden. Zudem wurden die Messungen mit 250 und 200 W wiederholt, um den Einfluß der Ventilatoren auf das thermische Verhalten bewerten zu können und den Wärmewiderstand zwischen Flansch und Kupferplatte auch beim Gerät GPL2 zu ermitteln.

In Abb. 48 gilt die oberste Kurve für 350 W, die anderen der Reihe nach für 300 W, 250 W und 200 W,



## 250-W-Kunstantenne

die unterste gilt für die Kupferplatte bei 200 W. Aus der überraschend niedrigen Temperaturdifferenz zwischen Flansch und Platte von 10 Grad errechnet sich ein sehr geringer Wärmewiderstand zwischen Widerstandsflansch und Platte zu  $10/200 = 0,05 \text{ °C/W}$ , der im Widerspruch zu Abb. 22 steht - dort waren es 17 Grad (entsprechend  $0,089 \text{ °C/W}$ ). Beim Gerät GPL1 war allerdings die Unterseite des Widerstandsflansches nicht bearbeitet, was die Ursache für den Unterschied sein wird.

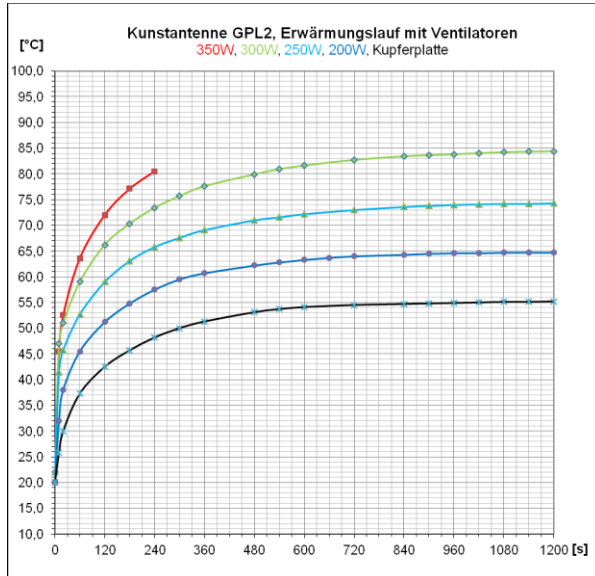


Abb. 48: Ergebnis der Erwärmungsläufe, erreichte Flanchtemperaturen

**Beim Betrieb mit Überlast kommt der Alarm erst, wenn es schon viel zu spät ist, wie die Rechnung am Beispiel mit 350 W beweist:**

Höchstens  $80 \text{ °C}$  am Flansch und  $350 \cdot 0,05 = 17,5 \text{ °C}$  Differenz zwischen Flansch und Platte ergeben gerade einmal  $62,5 \text{ °C}$  beim Fühler - da ist es noch weit bis zum Erreichen der Alarmschwelle. Vergleichsweise fährt man dann ein Autorennen ohne Helm und Sicherheitsgurt und muß deshalb ganz genau wissen, was man tut!

### Unterlagen

Schaltplan, Bestückungsplan, Leiterplatten-Layout und Widerstands-Datenblatt sowie die EXCEL-Datei sind Teil des gezippten Beitrags.

## Zusammenfassung 4. Nachtrag:

An den beiden Varianten gewonnene Meßergebnisse zeigen, daß

- eine ungefähr quadratische Platte die Wärme annähernd gleich gut ableitet wie eine doppelt so schwere mit langgestreckter Form.
- es bei allen Wärmeübergängen sehr auf plane und bei hochbelasteten Bauteilen auch auf möglichst glatte Flächen sowie gute Wärmeleitpaste ankommt - deshalb die Unterseite des Widerstandes ebenfalls nacharbeiten.
- Fremdkühlung mit Ventilatoren einen Dauerbetrieb mit maximal 300 W ermöglicht. Aus dem kalten Zustand ist diese Kunstantenne bis zu 4 Minuten mit 350 W belastbar.
- die Anpassung mit einer zusätzlichen Kapazität spürbar zu verbessern ist, wie schon OE5EBL an seinem Exemplar gezeigt hat. Das SWR ist bis 2,5 GHz bei den für den Amateurfunk maßgeblichen Frequenzen nicht größer als 1,33.

Dieser Beitrag ist deshalb so lang geworden, weil er die schrittweise Optimierung von zulässiger Einschaltdauer, Bearbeitungsaufwand, Materialeinsatz und Impedanzanpassung zeigt.

### Verweise:

- [5] Internetseite des OAFV, Drehzahlregelte Lüfter im Computer und anderswo:  
<http://www.oe5.oevsv.at/technik/werkstatt/bauvorschlaege/>