

# Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

**Gelegentlich will man das Ausgangssignal einer Senderendstufe breitbandig auf einem Analysator darstellen. Das ist mit einem sehr speziellen Richtkoppler und einer passenden Kunstantenne möglich oder aber mit einem Dämpfungsglied, das für die volle Ausgangsleistung der Endstufe dimensioniert ist. Der Beitrag beschreibt am Beispiel eines Probeaufbaues, was außer dem eigentlichen Abschwächerelement noch benötigt wird und wie sich ein solches Gerät realisieren läßt.**

## Warum ein Dämpfungsglied?

Die breitbandige Messung des Ausgangssignals einer Senderendstufe ist nicht ganz einfach, denn es soll ja an den Amplituden von Grundwelle und Oberwellen auf dem Weg bis zum Eingang des Meßgerätes keine Verfälschung auftreten. Damit scheidet eine einfache Ankopplung mittels eines Leiterstückes, das als Antenne wirkt, aus: Diese Art der Ankopplung ist frequenzabhängig und hat zudem wegen der undefinierten Impedanz Resonanzstellen, die das Meßergebnis zusätzlich verfälschen.

Viel besser geht es mit einem Breitband-Richtkoppler in Verbindung mit einer Kunstantenne, doch auch hier gibt es einen Wermutstropfen: Ein solcher Richtkoppler ist schwer aufzutreiben und er hat seinen Preis. Ein normaler Richtkoppler scheidet für diesen Zweck aus, denn der abgedeckte Frequenzbereich ist für eine solche Messung zu schmal (Koppeldämpfung und Richtschärfe ändern sich mit der Frequenz).

Als Alternative bietet sich der Einsatz eines Dämpfungsgliedes an. Es handelt sich dabei um eine Vorrichtung, die ein an den Eingang angelegtes Signal weitgehend frequenzunabhängig um einen bestimmten Faktor verringert und dieses abgeschwächte Signal am Ausgang für Meßzwecke bereitstellt. Die entstehende Verlustleistung wird über einen entsprechend dimensionierten Kühlkörper mittels Konvektion an die Umgebung abgeführt, weshalb ein solches Gerät je nach Leistung durchaus voluminös und gewichtig sein kann. So ein Dämpfungsglied ist selbstverständlich auch als gute Kunstantenne einsetzbar, wenn man den Ausgang mit einem passenden Abschluß versieht.

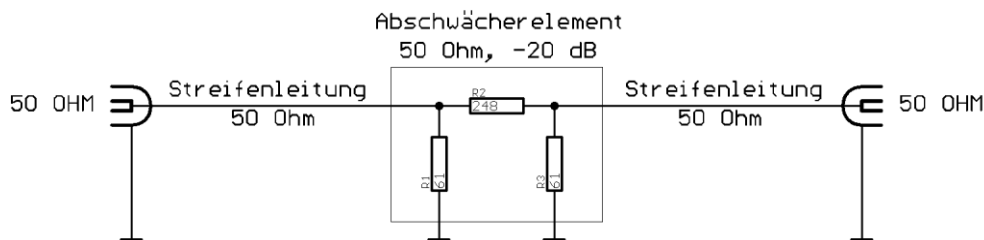


Abb. 1: Schaltbild des Dämpfungsgliedes

Es ist praktisch, ein dezimales Teilungsverhältnis zu haben, um nicht langwierig umrechnen zu müssen. Ein Verhältnis von 20 dB ist besonders günstig, weil dann die Spannung am Ausgang 10 % der Eingangsspannung beträgt und 100 W am Eingang 1 W am Ausgang ergeben. Die meisten kleinen Dämpfungsglieder und Abschlußwiderstände mit N- oder BNC-Anschluß verkraften dieses eine Watt.

## Woher die Teile?

Das zentrale Teil ist das Abschwächerelement, das mechanisch so ähnlich wie ein HF-Leistungstransistor aufgebaut ist. Elektrisch besteht es aus einem symmetrischen T- oder Pi-Glied in Dünnschichttechnik. Es ist somit belanglos, von welcher Seite die Leistung zugeführt wird.

Hin und wieder werden auf Afu-Flohmärkten und auch im Internet [1] solche Abschwächerelemente angeboten. Je nach Hersteller und Type vertragen diese Bauteile bei entsprechender Kühlung eine Leistung bis zu 200 W und sie sind bis in den unteren Gigahertz-Bereich für Meßzwecke einsetzbar. Das im Mustergerät verwendete Element wurde von der Firma FLORIDA RF Labs [2] gefertigt, hat einen Dämpfungswert von 20 dB, bei 1,0 GHz ein VSWR von ca. 1,5:1 und verträgt eine Leistung von ca. 150 W. Genaue Angaben sind nicht verfügbar, weil dieses Teil nicht mehr auf der Internetseite von FLORIDA RF (= mittlerweile EMC Technology) geführt wird. Das Datenblatt des Nachfolgemodells 33-1006-XX ist bei <http://www.emc-rflabs.com/Rflabs/media/products/datasheets/Attenuators-Fixed/Standard/Flange/33-1006.pdf?ext=.pdf?v=1421> verfügbar.

Abschwächerelemente dieser Art werden auch von anderen Herstellern gefertigt und angeboten, wie z.B. von ANAREN. Eine Sammlung solcher Adressen findet sich unter [3].

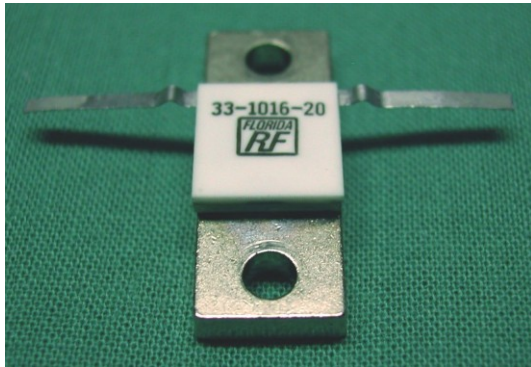


Abb. 2: Das Abschwächerelement mit bereits zurechtgebogenen Anschlüssen

Die gesamte zugeführte Leistung wird in dem verhältnismäßig kleinen Bauteil (ca. 23 \* 10 mm Grundfläche) in Wärme umgesetzt, was ohne zusätzliche Maßnahmen zu einem rapiden Temperaturanstieg und zur Zerstörung führt. Man muß also dafür sorgen, daß diese Wärme möglichst gut an die Umgebung abgeführt werden kann. Dies erfolgt wie üblich mittels eines Kühlkörpers, mit dem das Element so gut wärmeleitend wie nur möglich zu verbinden ist.

Vor dem endgültigen Einbau ist jede Anschlußfahne mit einer ganz kleinen Sicke zu versehen, die einen durch die Erwärmung bedingten geringen Längenausgleich des Elementes ohne Beschädigung der Anschlüsse erlaubt (siehe Abb. 2). Das ist notwendig,

weil das Element im Inneren durchaus eine Temperatur von 150 Grad C oder noch mehr erreichen kann. Siehe dazu auch das Dokument „eguide02.pdf“, das von [2] unter „Eng. Ref.“ herunterzuladen ist.

Beim ausgeführten Gerät wurden Flansch-Kühlkörper aus der Vorratskiste verwendet, die einmal in einem Netzteil ihren Dienst versehen haben. Bei der Planung ist darauf zu achten, daß bereits vorhandene Löcher nicht zu sehr stören. Der im Bild sichtbare Blechrahmen hat eine willkommene Vorarbeit dargestellt, ist aber keineswegs notwendig, denn die Gewindelöcher zur Befestigung der Abdeckungen könnten genauso gut im Kühlkörper selbst angebracht werden. Auch andere Formen von Kühlkörpern sind durchaus verwendbar, wenn sie entsprechend massiv und groß genug sind, um die gewünschte Verlustleistung abzuführen.

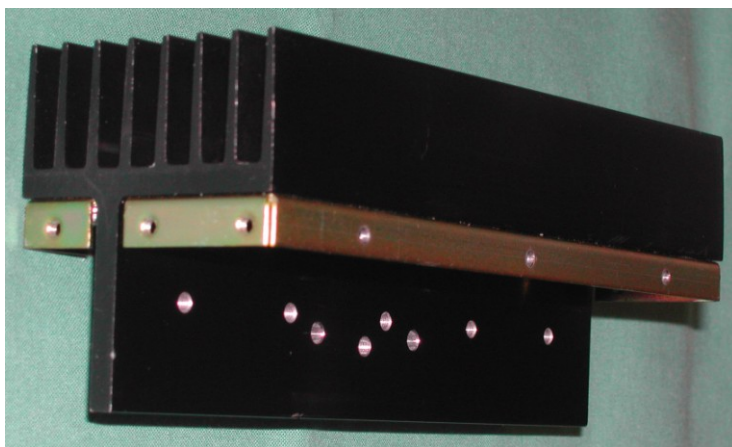


Abb. 3: Ein Kühlkörper

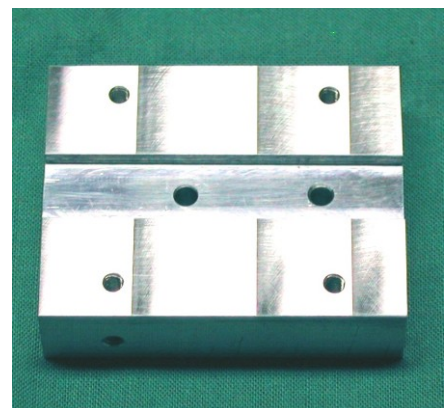


Abb. 4: Der Anschlußblock mit ca. 5 \* 4 \* 1,3 cm (L \* B \* D)

Die beiden Kühlkörper wurden so montiert, daß sich die Flansche gegenüberstehen und an der Längsseite berühren. Weil so keine zweckmäßige Direktmontage des Abschwächerelementes möglich ist, war noch ein Zwischenstück erforderlich, das die Wärme vom Element zu den beiden Kühlkörperhälften weiterleitet. Es besteht aus einem möglichst großen Aluminiumblock (Kupfer wäre besser!) und ist wegen der zusätzlichen Wärmeübergangsstelle keine optimale Lösung; dieser Kompromiß wurde aber eingegangen, um die vorhandenen Teile verwenden zu können. Am besten wäre ein durchgehender, dicker Steg, auf dem man das Element direkt befestigen kann.

Um dennoch eine möglichst gute Wärmeleitung zu erreichen, sind die Kontaktflächen so zu bearbeiten, daß sie peinlich genau plan werden. Dazu ist eine Fräsmaschine erforderlich, denn mit der Feile werden die wenigsten von uns im weichen Metall eine größere, wirklich ebene und glatte Fläche zustande bringen.

## Leistungs-Dämpfungsglied

### Hinweise zum Aufbau

Die beiden Anschlußfahnen des Elementes sollen, wie in der Zeichnung dargestellt, eben auf den Leiterplatten aufliegen, welche die Verbindung zu den Anschlußbuchsen herstellen. Das bedeutet, daß das Abschwächerelement etwas versenkt einzubauen ist. Auch die dafür erforderliche Nut kann nur auf der Maschine mit einem Fingerfräser hergestellt werden. Durch den blanken Anschlußblock und die damit verschraubten Leiterplatten entsteht eine durchgehende Masseverbindung von Buchse zu Buchse. Erfolgt die Befestigung des Elementes direkt auf einem Kühlkörper, so ist der Masseverbindung erhöhtes Augenmerk zu schenken: In der Regel sind die Kühlkörper eloxiert und haben somit eine äußerliche Isolierschicht. Auch in diesem Fall wird die Bearbeitung auf einer Werkzeugmaschine notwendig sein.

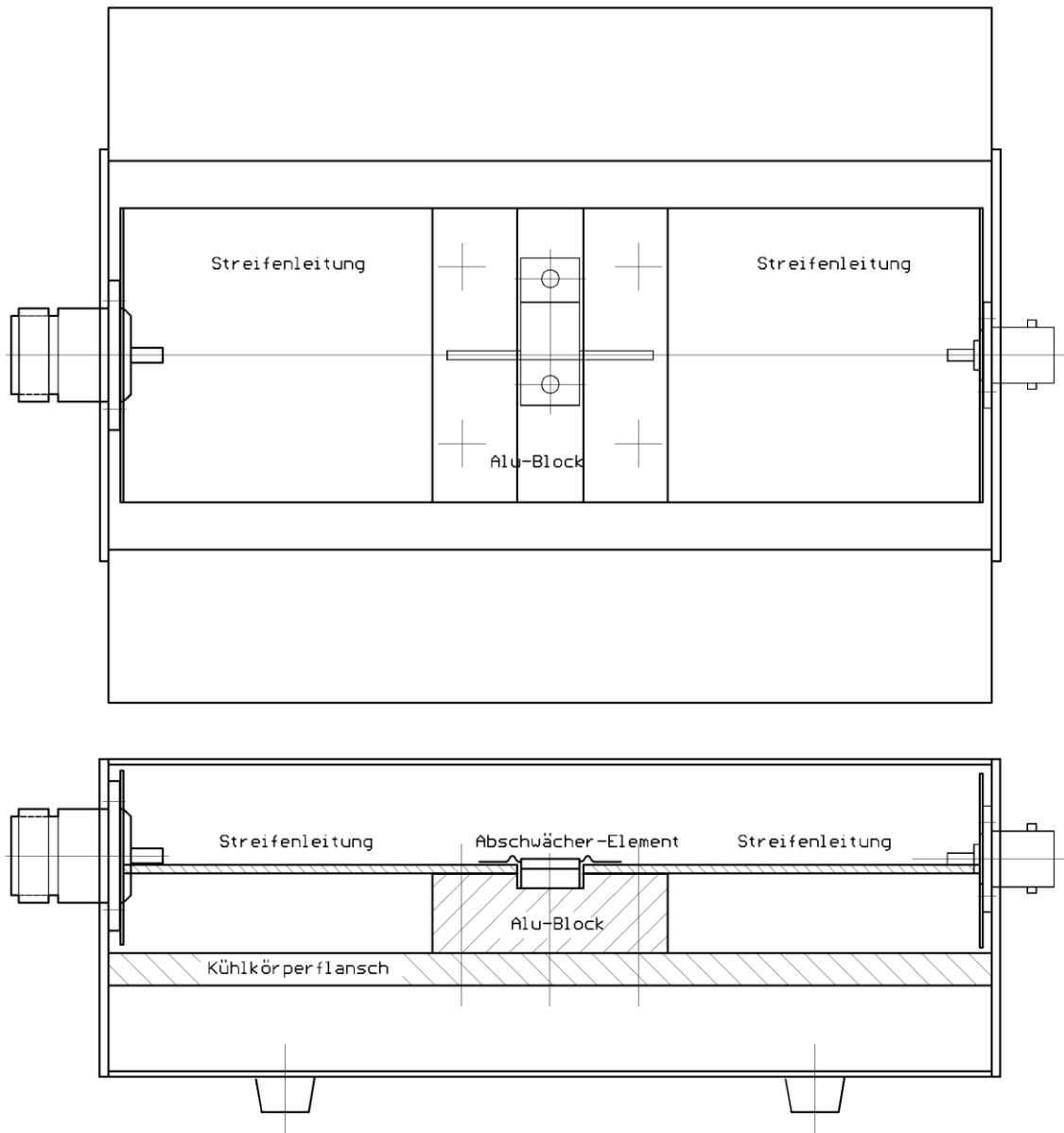


Abb. 5: Aufbauskizze

Zuführung und Ableitung der HF erfolgen über Buchsen, die auf den Stirnseiten des Kühlkörpers angeordnet werden. Die Wahl der Buchsen ist Geschmackssache; ich habe auf einer Seite eine N-Buchse und auf der anderen Seite eine BNC-Buchse verwendet, um beim Anschluß flexibel zu sein. Damit das Stehwellenverhältnis so niedrig wie möglich bleibt, werden die Buchsen so montiert, daß sich der Buchsenflansch auf der Innenseite befindet. Er wird großflächig durch eine mitverschraubte Weißblechplatte kontaktiert. Die rote Farbe auf den Muttern dient als Sicherung gegen ungewolltes Lösen (Nagelack).

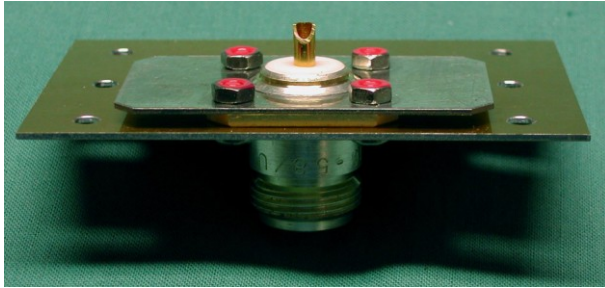


Abb. 6: Stirnseite mit Buchse und Anschlußplatte

herausgeätzt (Coplanar Waveguide), welche die Verbindung zwischen den Buchsen und dem Abschwächerelement herstellt. Die ober- und unterseitigen Masseflächen sind über eine Reihe von Durchkontaktierungen verbunden. Diese bestehen beim ausgeführten Gerät aus ganz kurzen Stücken eines blanken Kupferdrahtes mit  $1,5 \text{ mm}^2$  Querschnitt, die oben und unten verlötet sind.

Auf der Buchsensseite werden Ober- und Unterseite der masseführenden Leiterbahnen über die gesamte Breite mit der Weißblechplatte verlötet. Im Bereich des Buchsenkragens ist die Platine vorher sorgfältig auszunehmen, damit eine saubere Lötnaht bis auf den Kragen der Buchse möglich wird. Dazu ist ein mittelstarker Lötkolben erforderlich.

Die Leiterplatte reicht mit ihren Massebahnen ganz knapp an das Abschwächerelement heran, um die Leitungsimpedanz von 50 Ohm in diesem Bereich so gut wie möglich aufrecht zu erhalten.

Das Layout ist für eine maximale Länge des Kühlkörpers von 17 cm verwendbar; es lassen sich aus einer Euro-Karte 2 Sätze Streifenleitungen anfertigen. Je nach Lage des Elementes auf dem Kühlkörper trennt man die fertig geätzte Leiterplatte an der entsprechenden Stelle – dies ist dann auch die Seite, die an den Buchsen zu liegen kommt.

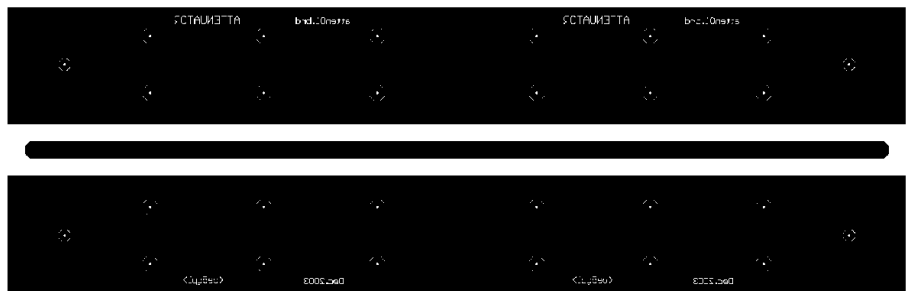


Abb. 7: Layout der Leiterplatte (nicht maßstäblich)

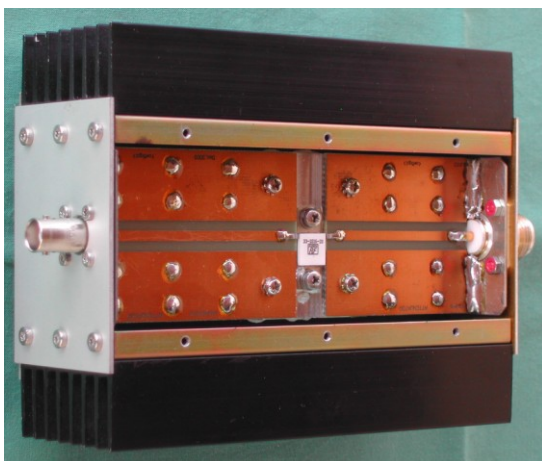


Abb. 8: Innenansicht

liegen kommt, mit einem spiritusgetränkten Tuch auf einer Länge von 1 cm weggewischt werden. Dazu deckt man die Stelle, welche unverändert bleiben soll, mit einem Klebestreifen ab, der nach dem Entfernen des Fotolacks wieder abgezogen wird.

Fotolack ist ein guter Schutz gegen Oxidation und er behindert das Löten nicht allzu sehr (das Flußmittel im Lot löst ihn auf). Die beiden quer zur Streifenleiter-Platine liegenden Außenkanten des Anschlußblocks wurden an der Oberseite mit einem dauerhaften Klebestreifen auf Papiergrundlage etwa 5

Auf dieser Seite der Blechplatte wird später die Platine festgelötet, welche die Verbindung zum Element herstellt, und zwar so, daß der Mittelstift der Buchse auf dem Mittelleiter der Platine zu liegen kommt.

Die Leiterplatte besteht aus 1,5 mm starkem Epoxid (FR4) und ist doppelseitig beschichtet, wobei die Unterseite vollflächig bestehen bleibt. Auf der Oberseite ist eine 50-Ohm-Streifenleiterstruktur mit parallel verlaufenden Masseleitungen

Die Abmessungen des Streifenleiters wurden mit dem Programm APPCAD von AGILENT (HP) ermittelt. Bei abweichendem Leiterplattenmaterial ist der Streifenleiter neu zu rechnen und das Layout zu überarbeiten. Das beim Prototyp verwendete Leiterplattenlayout ist auf der Internetseite des OAFV [4] im Verzeichnis TECHNIK/MESSEN/HF/Abschwächer als POSTSCRIPT-Datei zum Herunterladen verfügbar; die Platine läßt sich leicht herstellen [5], [6]. Wir haben nicht die Absicht, Leiterplatten zum Kauf anzubieten.

### Zusammenbau

Der Fotolack sollte nur auf der Unterseite der Leiterplatte an dem Ende, das auf dem Anschlußblock zu



## Leistungs-Dämpfungsglied

mm breit abgedeckt. Dies hat den Zweck, daß beim Festschrauben die Leiterplatte ein klein wenig gebogen und die vom Lack befreite Kante sicher auf den Anschlußblock gepreßt wird und so eine breitflächige Kontaktierung und eine durchgängige Masseverbindung sicherstellt.

Vor dem endgültigen Zusammenbau sind alle Flächen, die der Wärmeübertragung von einem Teil auf ein anderes dienen, auf Planheit zu kontrollieren und, wenn nötig, zu reinigen. Dann trägt man ein wenig Wärmeleitpaste auf und fügt die Teile zusammen. Die Schrauben im Inneren des Gerätes werden unter Beigabe von Sicherungsscheiben stramm, aber nicht übermäßig, angezogen (Aluminium!). Richtwerte liefert wieder das Dokument „eguide02.pdf“, das insgesamt eine Sammlung wertvoller Informationen ist.

## Ergebnisse

### Thermisch:

Wegen der Abmessungen des Kühlkörpers und der für Konvektionskühlung ungünstigen, horizontalen Lage der Kühlrippen ist die zulässige Verlustleistung des Prototyps im Dauerbetrieb auf weniger als 50 W begrenzt; kurzzeitig verträgt dieses Dämpfungsglied 100 W oder auch etwas mehr. Bei 100 W erreicht der Flansch des Abschwächerelementes innerhalb von 3 Minuten eine Temperatur von ca. 95 Grad C. Dies gilt allerdings nur für den Fall, daß die Wärmeleitung vom Element bis zu den Kühlrippen wirklich optimal funktioniert; andernfalls ist die Temperatur am Abschwächerelement je nach Wärmeübergangswiderstand ein Stück höher.

Die nachstehenden Werte wurden mit einem Anlegethermometer von FLUKE gemessen. Die Meßreihe zeigt in Abb. 11 den stufigen Verlauf des Temperaturgefälles, der durch die im Vergleich zum Aluminium verhältnismäßig großen Wärmeübergangswiderstände zwischen Element und Anschlußblock einerseits und zwischen Anschlußblock und dem Flansch des Kühlkörpers andererseits zustande kommt. Anstatt der Hochfrequenz aus einer Senderendstufe wurde beim Erwärmungstest die Heizleistung einem Trenn-Regeltransformator entnommen, weil sich die 50-Hz-Wechselspannung weitaus genauer und bequemer messen läßt.

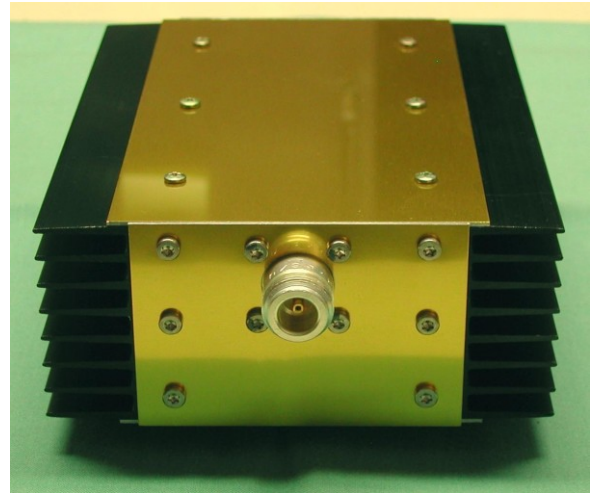


Abb. 9: Das fertige Dämpfungsglied

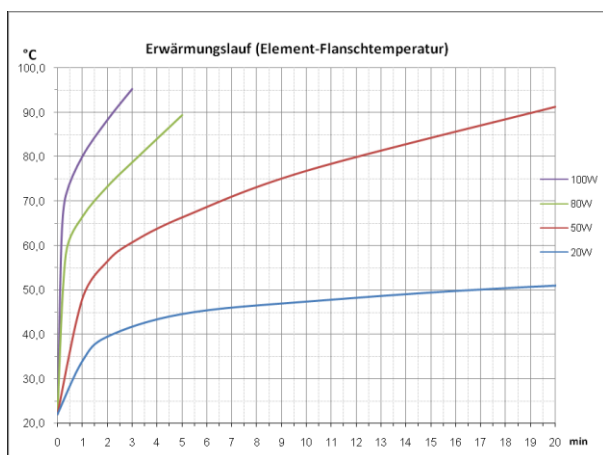


Abb. 10: Temperaturanstieg in Abhängigkeit von der zugeführten Leistung

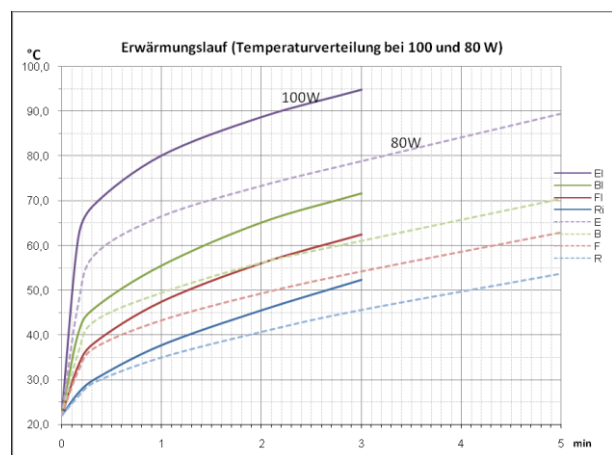


Abb. 11: Temperaturverteilung im Gerät

Die in Abb. 11 dargestellten Temperaturverläufe wurden gemessenen am

Flansch des Abschwächerelementes (EI und E)  
Flansch des Kühlkörpers (FI und F)

Anschlußblock (BI und B)  
Rippe des Kühlkörpers (Ri und R)

## Leistungs-Dämpfungsglied

Elektrisch:

Die nachstehenden Bildschirmfotos zeigen, daß dieses Dämpfungsglied für amateurmäßige Meßzwecke durchaus bis zu einer Frequenz von 2 GHz, mit Einschränkungen sogar bis 2,5 GHz, brauchbar ist.

Die Messungen sind mit einem ADVANTECH R3361A Spektrumanalysator durchgeführt worden. Der Breitband-Richtkoppler HP778D zur Ermittlung der vom Dämpfungsglied reflektierten Leistung ist für den Bereich 0,1 bis 2 GHz spezifiziert und hat eine Koppeldämpfung von 20 dB, die bei der Auswertung der Schirmbilder zu berücksichtigen ist.

Abb. 12 zeigt den Dämpfungsverlauf der Meßkabel ohne zwischengeschaltetes Dämpfungsglied, in Abb. 13 ist das Dämpfungsglied eingefügt. Die Dämpfung ergibt sich aus der Differenz der Kurven von Abb. 12 und Abb. 13, bezogen auf die Referenzlinie.

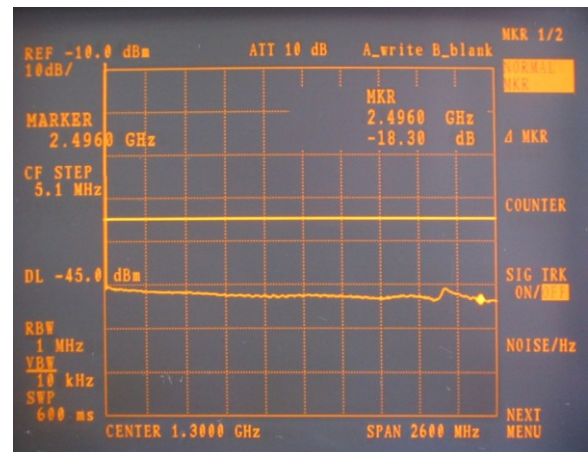
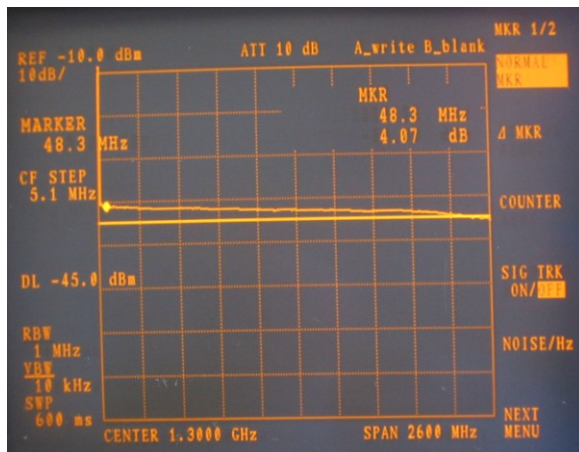
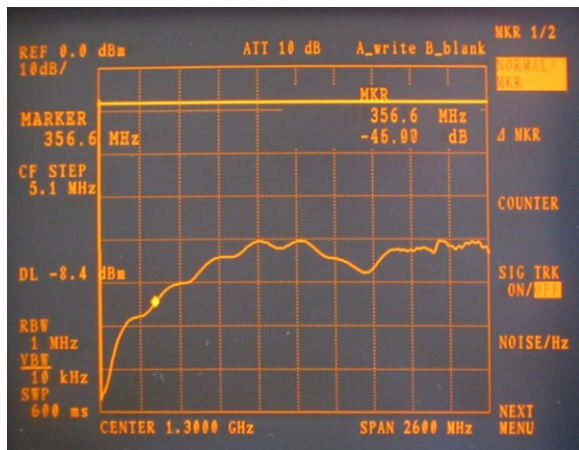


Abb. 14 stellt den Verlauf der Rückflußdämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz dar; die Rückflußdämpfung ist der Differenzbetrag der Kurven von Abb. 12 und Abb. 14, jedoch abzüglich der 20 dB, die der Richtkoppler in die Messung einbringt.



## Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt, wie unter Verwendung eines käuflichen Abschwächerelementes ein Leistungsdämpfungsglied aufgebaut werden kann, das für den Amateurgebrauch als Meßhilfsmittel bis 2 GHz geeignet ist. Es handelt sich bei der Beschreibung nicht um eine Bauanleitung, sondern es soll gezeigt werden, wie man mit bescheidenen Mitteln aus vorhandenen Teilen ein solches Dämpfungsglied herstellen kann.

Im Selbstbau Erfahrene wissen, daß Mechanik ein wesentlicher Bestandteil aller elektronischen Geräte ist. Geräte, die höheren Ansprüchen genügen oder als Meßeinrichtung brauchbar sein sollen,

sind in der Regel mit dem üblichen Handwerkzeug allein nicht erfolgreich fertigzustellen. Mir ist bewußt, daß nicht jeder Nachbauwillige unmittelbaren Zugang zu einer Metallbearbeitungsmaschine hat. Aber zum einen besitzen immer mehr solche Einrichtungen und zum anderen haben Freunde oder Bekannte vom Beruf her Zugang zu einer solchen Maschine und können den Anschlußblock in einer Pause schnell einmal anfertigen. Ein Appell an den HAM-Spirit wird in den meisten Fällen helfen.

Falls also auf dem nächsten Flohmarkt ein passendes Abschwächerelement zu akzeptablem Preis angeboten werden sollte: zugreifen! Und auch wenn es sich um einen 50-Ohm-Abschlußwiderstand handelt,

## Leistungs-Dämpfungsglied

der nur 1 Anschlußfahne hat, ist das Geld nicht schlecht angelegt, weil ein guter und belastbarer Abschlußwiderstand im Laden durchaus nicht billig ist.

Ich bedanke mich recht herzlich bei meinen Amateurfunkkollegen Erwin, OE5VLL, der das Abschwächerelement beschafft hat, und Karl, OE5MKL, an dessen Meßplatz die elektrischen Werte ermittelt worden sind.

Achtung: Das Abschwächerelement enthält möglicherweise Berylliumoxid, welches giftig ist (wie auch manche Leistungshalbleiter-Bauteile). Also auf keinen Fall öffnen!

Gutes Gelingen!

Helmut, OE5GPL

Verweise und Literatur:

- [1] eBay: <http://www.ebay.de/>
- [2] FLORIDA RF Labs: <http://www.rflabs.com/>
- [3] RF-Cafe, Attenuator & Terminator Vendors:  
[http://www.rfcafe.com/vendors/components/attenuator\\_links.htm](http://www.rfcafe.com/vendors/components/attenuator_links.htm)
- [4] Internetseite des Österreichischen Amateurfunkverbandes OAFV:  
<http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik>
- [5] Stadelmeyer, Helmut, OE5GPL, FUNK 2004, Heft 02: Leiterplatten selbst herstellen – wirklich keine Kunst!
- [6] Internetseite des Österreichischen Amateurfunkverbandes OAFV:  
TECHNIK/WERKSTATT/TIPPS, Platinen herstellen: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik>

### 1. Nachtrag (März 2008)

Weil mittlerweile die notwendigen Meßgeräte zugänglich sind, wurden Durchgangsdämpfung und Rückflußdämpfung nochmals, und diesmal etwas genauer, untersucht. Mit den gewonnenen Daten kann der Abschwächer nunmehr auch zur einigermaßen zuverlässigen Messung von Leistungen im Bereich bis 100 W eingesetzt werden.

Der Generator war auf einen Pegel von +10 dBm eingestellt, zum Messen der Leistung diente ein URY mit einem NRV-Z5-Sensor. Das Kabel vom Generator zum Abschwächer war ein etwa 40 cm langes Stück RG400/U mit beidseitigen BNC-Steckern (alles von SUHNER). Die Anpassung an die unterschiedlichen Koaxialverbinder erfolgte ebenfalls mit Adaptern Fabrikat SUHNER. Damit sollten die aus diesem Bereich kommenden Meßunsicherheiten ausgeschlossen sein.

Um auch Pegelschwankungen, die von Generator stammen, auszuschließen, wurde zuerst die am Kabelende vorhandene Leistung gemessen, von der dann die am Ausgang des Abschwächers übriggebliebene Leistung abgezogen wurde. Das Ergebnis ist in Abb. 15 dargestellt.

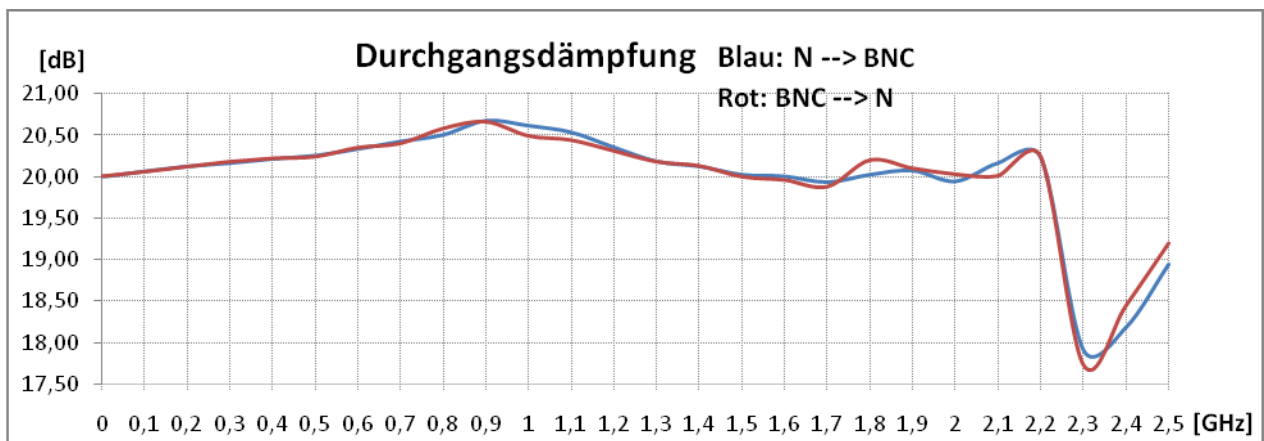


Abb. 15: Verlauf der Durchgangsdämpfung im Bereich von 0 bis 2,5 GHz

## Leistungs-Dämpfungsglied

Im Bereich zwischen 2,2 und 2,3 GHz weist die Anordnung eine ungewöhnlich große Unstetigkeit auf, die sich aus dem Verlauf der Rückflußdämpfung (Abb. 17) nicht erklären läßt; sie ist allerdings auch schon aus Abb. 13 ungefähr zu entnehmen.

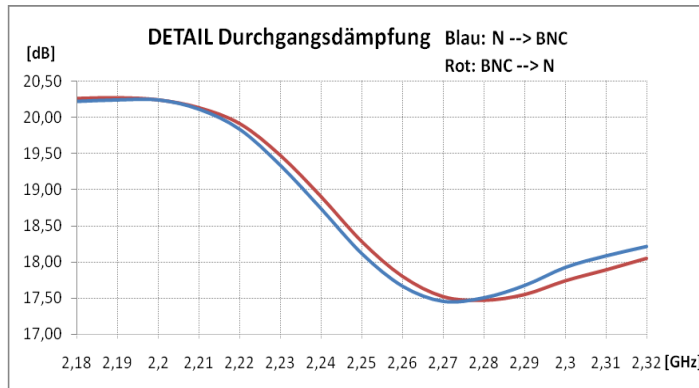


Abb. 16: Verlauf der Durchgangsdämpfung im Bereich von 2,18 bis 2,32 GHz

Von großem Interesse war, wie sehr sich das Verhalten des Gerätes in Abhängigkeit von der gerade verwendeten Eingangsbuchse ändert. Man sieht, daß der Unterschied bis 1,7 GHz sehr gering ist und auch darüber hinaus nicht großartig anders wird.

Der Bereich zwischen 2,18 und 2,32 GHz ist zusätzlich mit kleineren Frequenzschritten genauer untersucht worden (Abb. 16). Kleine Unterschiede zwischen Abb. 15 und Abb. 16 in diesem Bereich sind auf die Art zurückzuführen, wie EXCEL solche Kurven darstellt.

Weil sich die Durchgangsdämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz bei diesem Abschwächer verhältnismäßig stark ändert, sind ohne eine Kalibrierkurve, wie sie in Abb. 15 dargestellt ist, die damit gemachten Leistungsmessungen ungenau. Hat man jedoch die Kurve einmal aufgenommen (man wird das für jedes Exemplar extra tun müssen!), dann ist das Gerät auch dafür gut geeignet und erlaubt das Messen von verhältnismäßig großen Leistungen mit Kleinleistungsmessern bis in den 13-cm-Bereich. Dabei ist zum Schutz des Meßkopfes wahrscheinlich ein zusätzliches Dämpfungsglied notwendig.

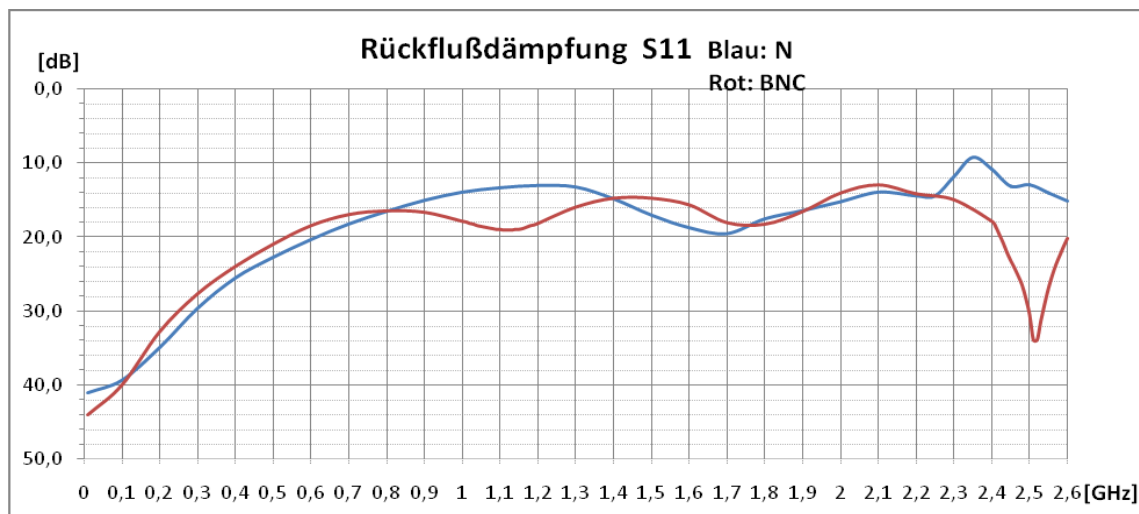


Abb. 17: Verlauf der Rückflußdämpfung im Bereich von 0,1 bis 2,6 GHz

Die Anpassung wurde mit einer ZRB-Brücke gemessen. Die Ausgangsbuchse des Abschwächers war immer mit 50 Ohm abgeschlossen und das Meßobjekt über gute Koaxialadapter direkt mit der Brücke verbunden. Vergleicht man die blaue Kurve mit jener von Abb. 14, so ist im Verlauf einigermaßen gute Übereinstimmung zu erkennen. Die Rückflußdämpfung (Return Loss RL) beträgt bei Verwendung der N-Buchse als Eingang im 70-cm-Band ca. 24 dB (VSWR 1:1,14), im 23-cm-Band etwa 16 dB (1:1,39) und im 13-cm-Band liegt sie nur mehr bei mageren 11 dB (1:1,8).

Bei Verwendung des BNC-Eingangs (rote Kurve) ist man als Funkamateur etwas besser bedient, denn dann erreicht die Rückflußdämpfung bei 70 cm ungefähr 22 dB (VSWR 1:1,17), bei 23 cm um die 16 dB (1:1,39) und bei 13 cm immerhin 18 dB (1:1,28). Es sind sehr gute Stecker und Kabel vonnöten, um das Meßergebnis nicht unnütz zu verfälschen.



## 2. Nachtrag (Jänner 2015)

Im Zuge von Versuchen betreffend die Wärmeleitung bei Bauteilen der Leistungselektronik hat sich herausgestellt, daß es bessere Wärmeleitpasten gibt als die hier ursprünglich verwendete. Aus diesem Grund wurde das Abschwächerelement ohne sonstige Änderungen neu montiert, wobei diesmal FISCHER WLPG zum Einsatz kam. Diese Paste hat beim Vergleich mehrerer Pasten sehr gut abgeschnitten, hier hat ihre Verwendung sogar zu einem richtigen Aha-Erlebnis geführt:

Die Kurven in Abb. 18 zeigen den Unterschied: Die unterbrochenen Kurven gelten für die alte Paste und die nicht unterbrochenen Kurven sind mit WLPG aufgenommen worden. Man sieht, daß wegen der jetzt besseren Wärmeübertragung

- bei 50 W die 90 °C anstatt nach 19 Minuten erst nach 27 Minuten erreicht werden,
- bei 80 W verlängert sich die Zeitspanne von 5 auf knapp 7 und
- bei 100 W von gut 2 auf knapp 4 Minuten

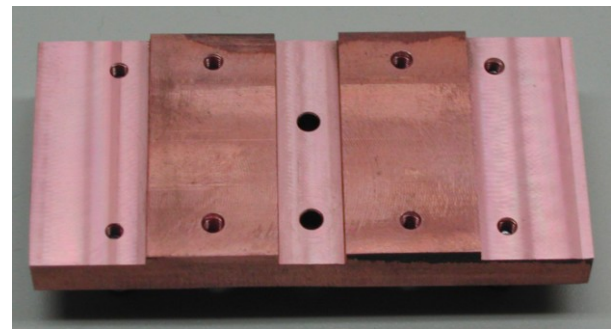
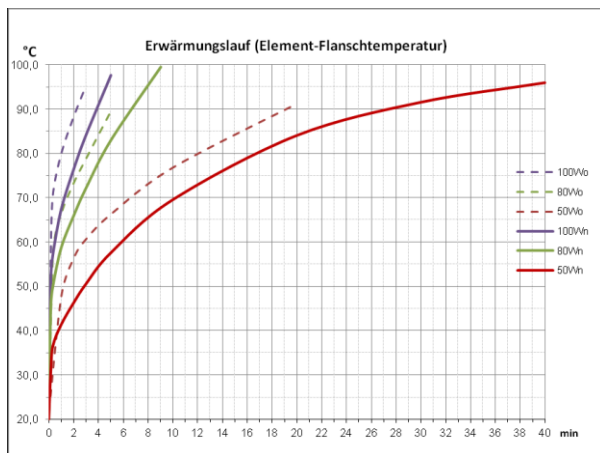


Abb. 19: Neuer Anschlußblock (ca. 100\*42\*10 mm)

Abb. 18: Unterschiedlich rasche Erwärmung mit unbekannter Wärmeleitpaste und FISCHER WLPG

Nachdem das Gerät zum Wechsel der Wärmeleitpaste schon geöffnet war, ist nach obiger Messung auch der Anschlußblock neu angefertigt worden, wegen der besseren Wärmeleiteigenschaften diesmal etwas größer und aus einem Abfallstück einer Kupfer-Stromschiene (Abb.19). Abb. 20 zeigt das Ergebnis (ebenfalls mit WLPG und immer aus dem kalten Zustand). Der neue Anschlußblock überträgt die Wärme soviel besser auf den Kühlkörper, daß man das für kaum möglich hält:

- bei 50 W werden die 90 °C anstatt nach 27 erst nach etwa 50 Minuten erreicht,
- bei 80 W verlängert sich die Zeitspanne von 7 auf 13 und
- bei 100 W von knapp 4 auf knapp 9 Minuten – ein höchst erfreuliches Ergebnis, denn insgesamt hat sich durch die Umbaumaßnahmen die Zeit von vorher 2 auf nunmehr 9 Minuten verlängert!

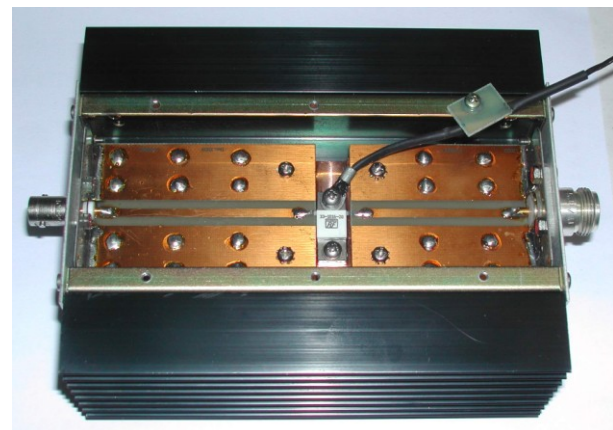
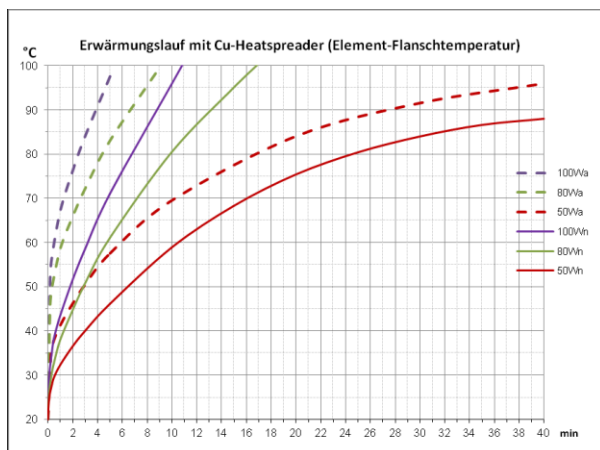


Abb. 21: Innenansicht während der Temperaturmessung

Abb. 20: Wirkung der verbesserten Wärmeverteilung

## Leistungs-Dämpfungsglied

Weil in der Zwischenzeit bei der Streifenleitung versuchsweise die Durchkontaktierung von massiven Drahtstücken auf Hohlknoten [7] geändert wurde, ist auch die Anpassung nochmals gemessen worden. Der dazu verwendete Richtkoppler stammt aus einem S-Parameter-Testset von HP, ist nicht gekennzeichnet und gleicht äußerlich einem HP 778D aufs Haar - höchstwahrscheinlich ist es auch einer. Beim 778D ist im Bereich von 100 MHz bis 2 GHz die Koppeldämpfung mit 20 dB +/- 1,5 dB angegeben. Hier soll aber zumindest bis 2,5 GHz gemessen werden. Abb. 22 zeigt, daß seine Koppeldämpfung bis 2,8 GHz nicht merklich anders wird, er also auch in diesem Bereich verwendbar ist. Die Richtschärfe ist für Anpassungsmessungen noch völlig ausreichend (Abb. 23).

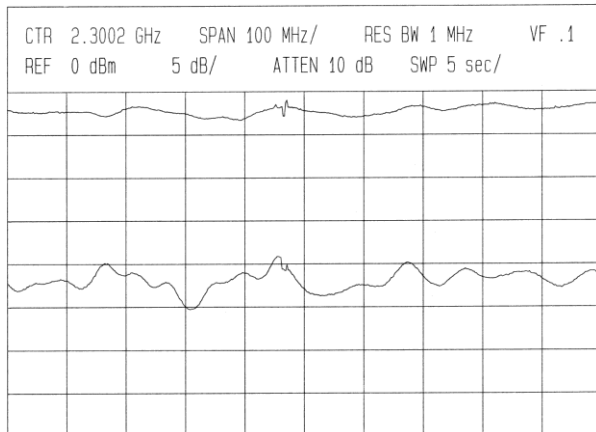


Abb. 22: Koppeldämpfung des HP 778D von 1,8 bis 2,8 GHz

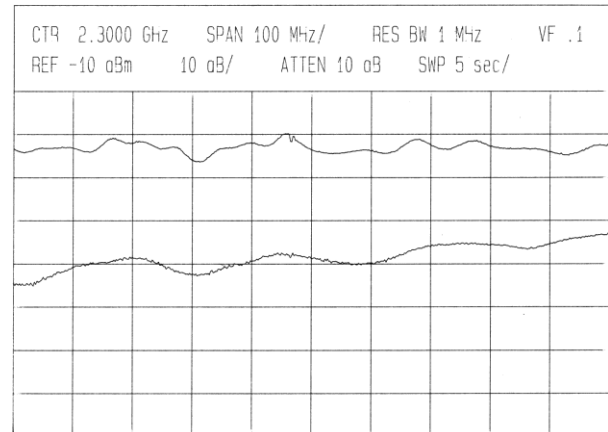


Abb. 23: Richtschärfe des HP 778D von 1,8 bis 2,8 GHz mit SPINNER-Abschlußwiderstand BN392497

In allen nachfolgenden Diagrammen für den 20-dB-Abschwächer gilt bei einer Anpassungsmessung die obere Linie für Totalreflexion und die untere für die Rückflußdämpfung des jeweiligen Eingangs. Der Ausgang war immer mit einem Abschlußwiderstand versehen, das Meßobjekt war am Meßtor des Koppplers über ein 18 cm langes RG142B/U-Kabel mit gecrimpten N-Steckern angeschlossen.

Die Durchgangsdämpfung entspricht der Differenz beider Linien.

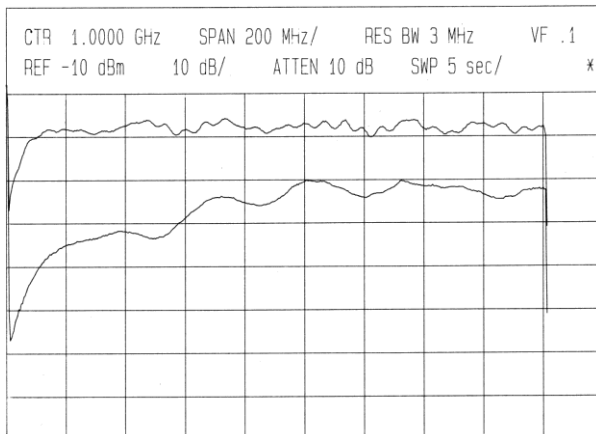


Abb. 24: Rückflußdämpfung von 10 MHz bis 1,8 GHz an der N-Buchse

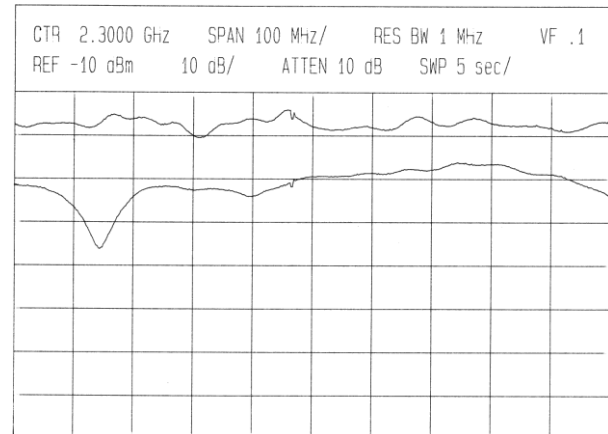


Abb. 25: Rückflußdämpfung von 1,8 bis 2,8 GHz an der N-Buchse

Bis in das 70-cm-Band ist die Anpassung gut, das VSWR bleibt unter 1,1:1. Im 23-cm-Band beträgt es allerdings bereits 1,5:1 und im 13-cm-Band steigt es gar auf 1,9:1 an. Daran läßt sich durch Kompensieren leider nichts ändern, auch wenn eine Fingerprobe diese Hoffnung weckt. Im Unterschied zu einer Kunstantenne müßte man bei einem Abschwächer eigentlich auf beiden Seiten des Abschwächerelementes störende Induktivitäten durch zusätzliche Kondensatoren kompensieren. Bei dem geringen Abstand der Anschlußfahnen (Abb. 21) würden die jedoch das Übersprechverhalten von der einen auf die andere Seite verschlechtern. Die Folge wäre, daß der Dämpfungswert mit zunehmender Frequenz geringer wird, was bei einem Abschwächer nicht gewünscht ist.

## Leistungs-Dämpfungsglied

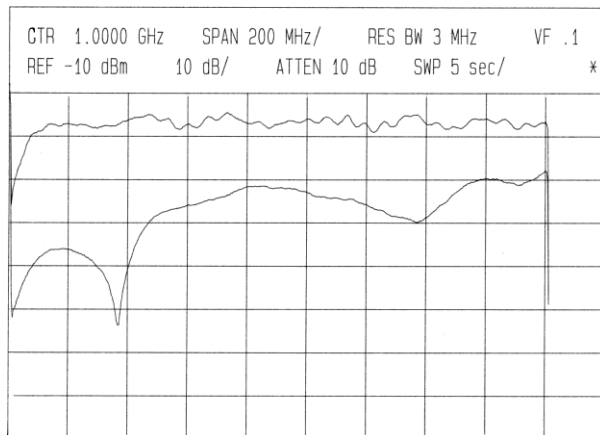


Abb. 26: Rückflußdämpfung von 10 MHz bis 1,8 GHz an der BNC-Buchse

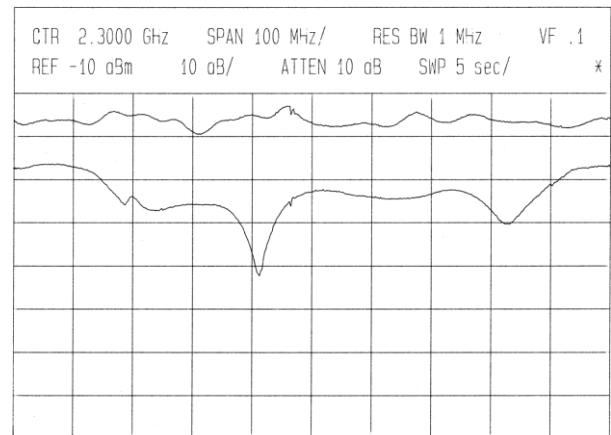


Abb. 27: Rückflußdämpfung von 1,8 bis 2,8 GHz an der BNC-Buchse

Auf der BNC-Seite schaut es hingegen bei den für einen Funkamateure wichtigen Frequenzen besser aus: Bis 500 MHz mehr als 20 dB entsprechend einem VSWR von 1,22:1, bei 1250 MHz ebenfalls 1,22:1 und bei 2,45 GHz immer noch 1,33:1 (RL = 17 dB). Bezüglich Anpassung ist also die BNC-Seite eindeutig die bessere Wahl. Im 13-cm-Band ist dieser Abschwächer wegen seiner dort um etwa 5 dB geringeren Durchgangsdämpfung zur Leistungsmessung nur sehr eingeschränkt verwendbar (Abb. 29).

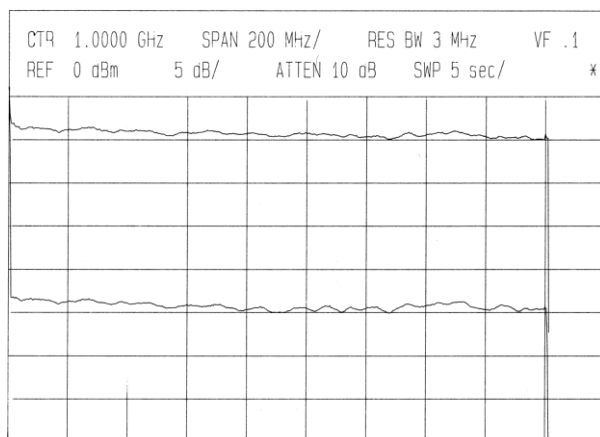


Abb. 28: Durchgangsdämpfung von 10 MHz bis 1,8 GHz

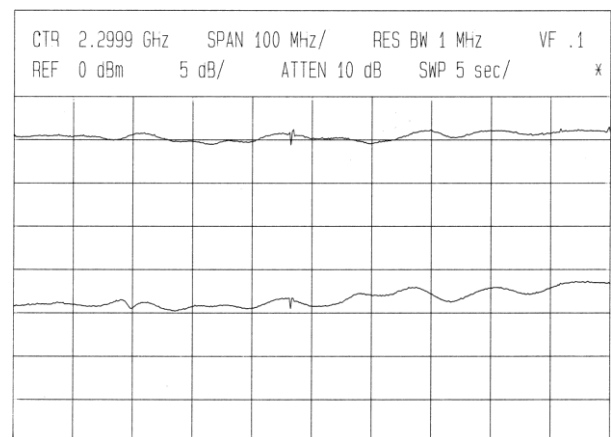


Abb. 29: Durchgangsdämpfung von 1,8 bis 2,8 GHz

Zum Vergleich mit dem selbstgebaute Gerät ist noch ein Dämpfungsglied von NARDA mit folgenden Daten untersucht worden:

Type 769-10  
Frequenzbereich DC bis 6 GHz

Leistung 150W  
Max. VSWR 1,35 entsprechend 16,5 dB RL

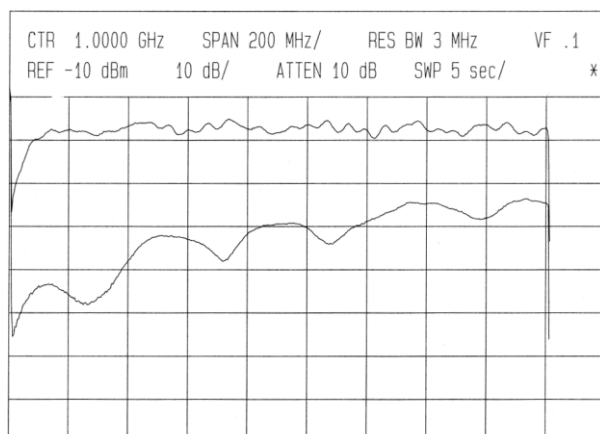


Abb. 30: Rückflußdämpfung von 10 MHz bis 1,8 GHz bei NARDA 569-10

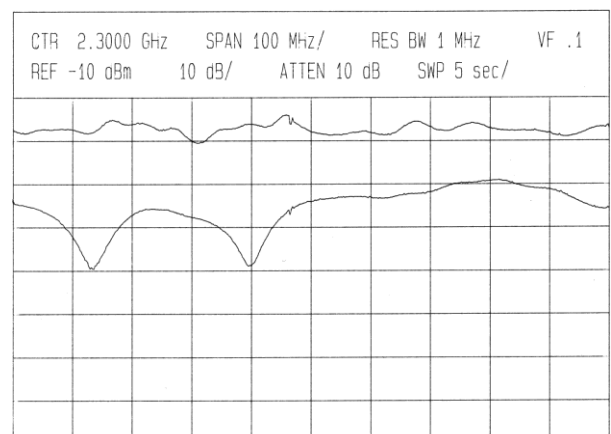


Abb. 31: Rückflußdämpfung von 1,8 GHz bis 2,8 GHz bei NARDA 569-10

## Leistungs-Dämpfungsglied

Im Bereich zwischen 2,35 und 2,75 GHz tut sich auch das Profigerät mit den spezifizierten 16,5 dB Rückflußdämpfung ein wenig schwer - siehe Abb. 31 bei 2,6 GHz.

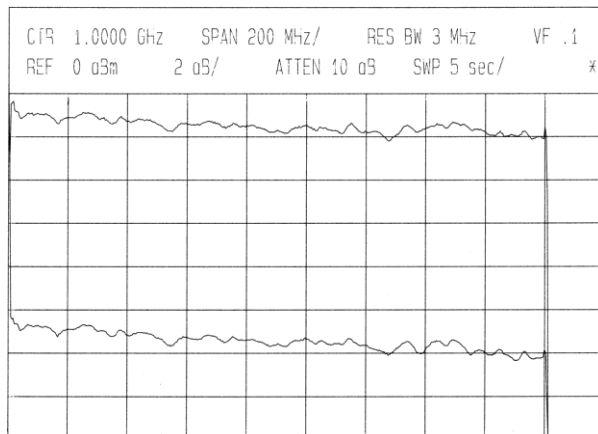


Abb. 32: Durchgangsdämpfung von 10 MHz bis 1,8 GHz bei NARDA 569-10

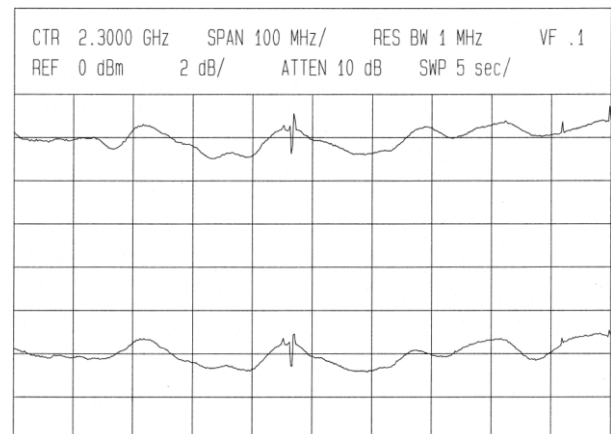


Abb. 33: Durchgangsdämpfung von 1,8 GHz bis 2,8 GHz bei NARDA 569-10

Was zu erwarten war: Bei der Durchgangsdämpfung gibt sich dieses Gerät unterhalb von 3 GHz keinerlei Blöße, es ist allerdings auch völlig anders aufgebaut als der hier beschriebene Abschwächer.

### Zusammenfassung 2. Nachtrag

- Die Änderung von Material und Größe der Platte zwischen Abschwächerelement und dem Kühlkörper von Aluminium auf Kupfer verbessert die Wärmeleitung so sehr, daß es bei Vollast dann annähernd doppelt so lange dauert, bis die kritische Temperatur erreicht wird.
- Sehr gute Wärmeleitpaste zwischen Element und Kupferplatte verringert die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs ebenfalls um etwa 30 %.
- Die erreichten elektrischen Werte übertreffen die des auf Seite 1 angeführten Datenblattes beträchtlich, sowohl was den verwendbaren Frequenzbereich als auch das VSWR betrifft - das Bauteil ist anscheinend recht konservativ spezifiziert.
- Die Änderung der Durchkontaktierung von Massivdraht auf Hohlknoten hat auf der N-Seite so gut wie gar nichts bewirkt, auf der BNC-Seite ist die Rückflußdämpfung über 2 GHz jedoch um etwa 3 dB besser geworden.

Soll das Gerät auch im 13-cm-Band zur Leistungsmessung verwendet werden, dann ist der dortige Verlauf der Durchgangsdämpfung mit einem Zweikanal-Powermeter einmalig zu dokumentieren.

### Verweise und Literatur:

- [7] Internetseite des Oberösterreichischen Amateurfunkverbandes OAFV, Leiterplatten durchkontaktieren: <http://www.oe5.oevsv.at/technik/werkstatt/tipps/>