

# Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

**Gelegentlich will man das Ausgangssignal einer Senderendstufe breitbandig auf einem Analysator darstellen. Dies 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 Abschwächer element 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.

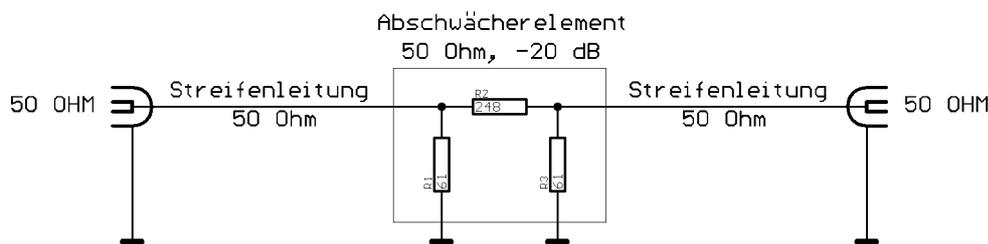


Abb. 1: Schaltbild des Dämpfungsgliedes

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 Abschwächer element, 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 Abschwächer elemente 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 1,5 GHz ein SWR von ca. 1,3 und verträgt eine Leistung von ca. 150 W. Genaue Angaben sind nicht verfügbar, weil dieses Teil nicht mehr auf der Internetseite von FLORIDA RF geführt wird.

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

## Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL



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 Flanschekühlkörper 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.

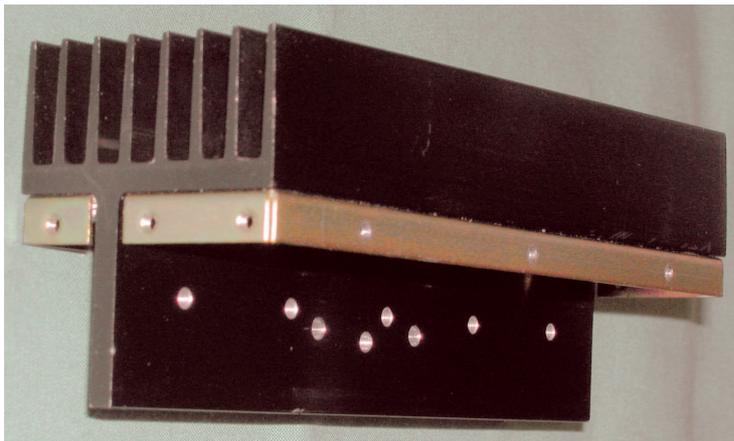


Abb. 3: Ein Kühlkörper

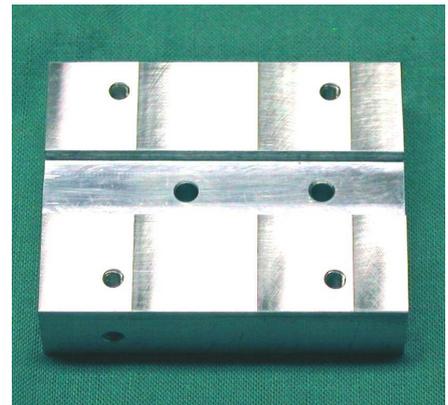


Abb. 4: Der Anschlußblock mit ca. 5 \* 4 \* 1,3 cm (L \* B \* D)

Die beiden Kühlkörper wurden so montiert, daß sich die Flansche gegenüberstehen und an der Schmalseite 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.

## Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

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.

### 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.

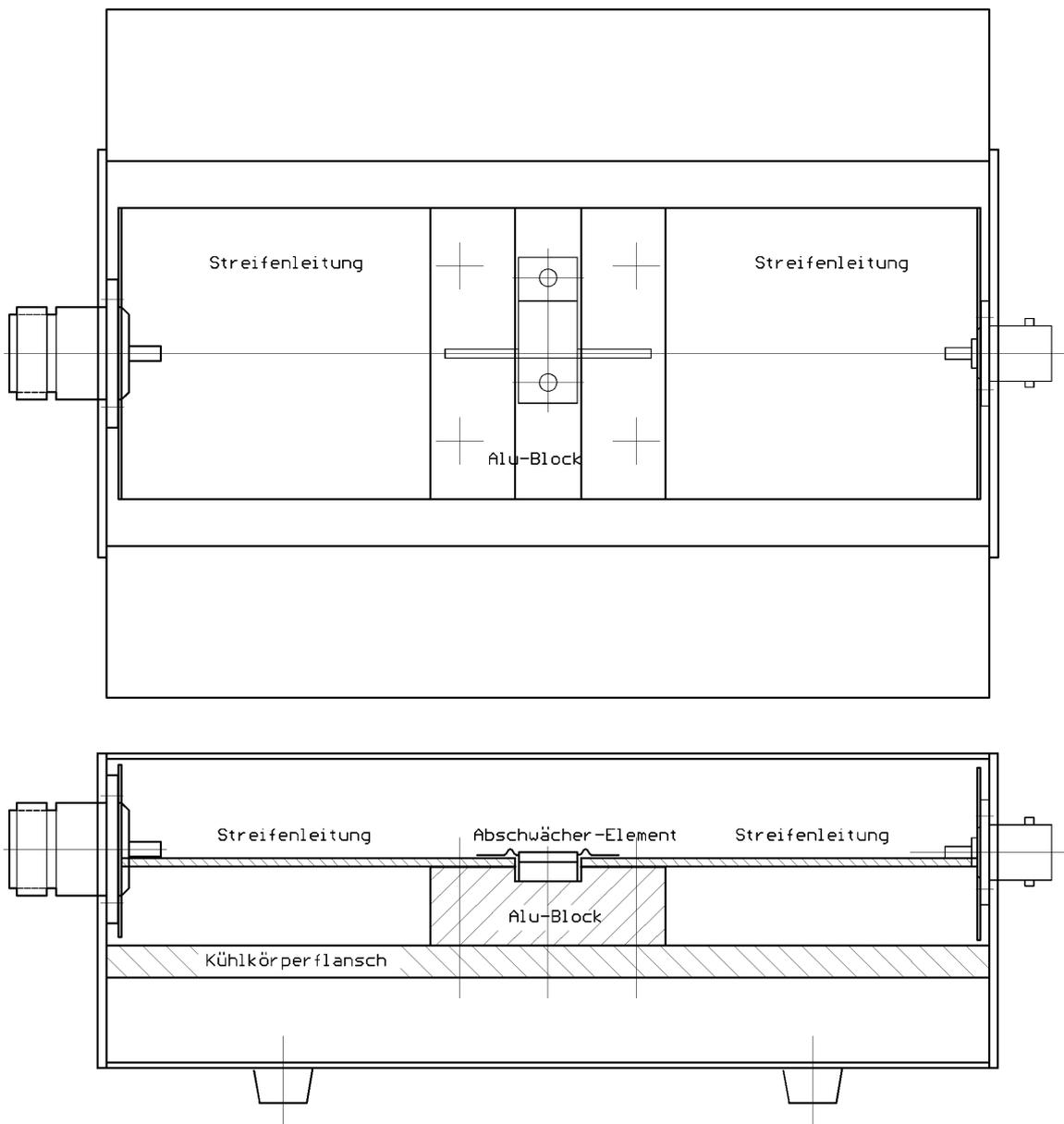


Abb. 5: Aufbauskitze

## Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

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 (Nagellack).

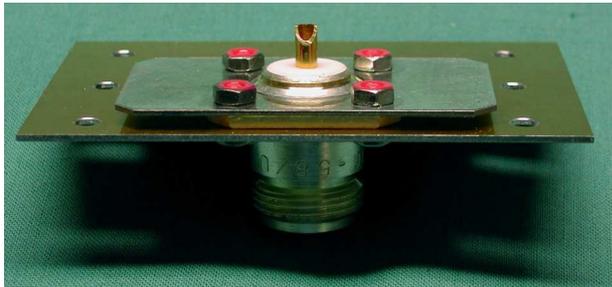


Abb. 6: Stirnseite mit Buchse und Anschlußplatte

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 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 mm<sup>2</sup> 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.

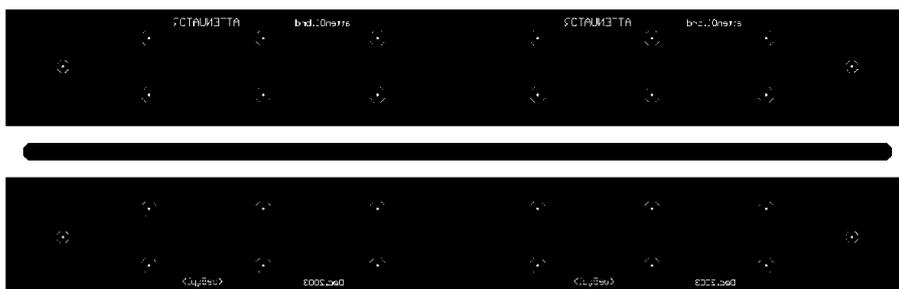


Abb. 7: Layout der Leiterplatte (nicht maßstäblich)

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.

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 / SELBSTBAU / PROJEKTE als POSTSCRIPT-Datei zum Herunterladen

## Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

verfügbar, die Platine läßt sich leicht herstellen [5]. 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 liegen kommt, mit einem spiritusgetränktem 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 Fotolackes wieder abgezogen wird. Der Fotolack ist ein guter Schutz gegen Oxidation und er behindert das Löten kaum (das Flußmittel im Lot löst ihn auf).

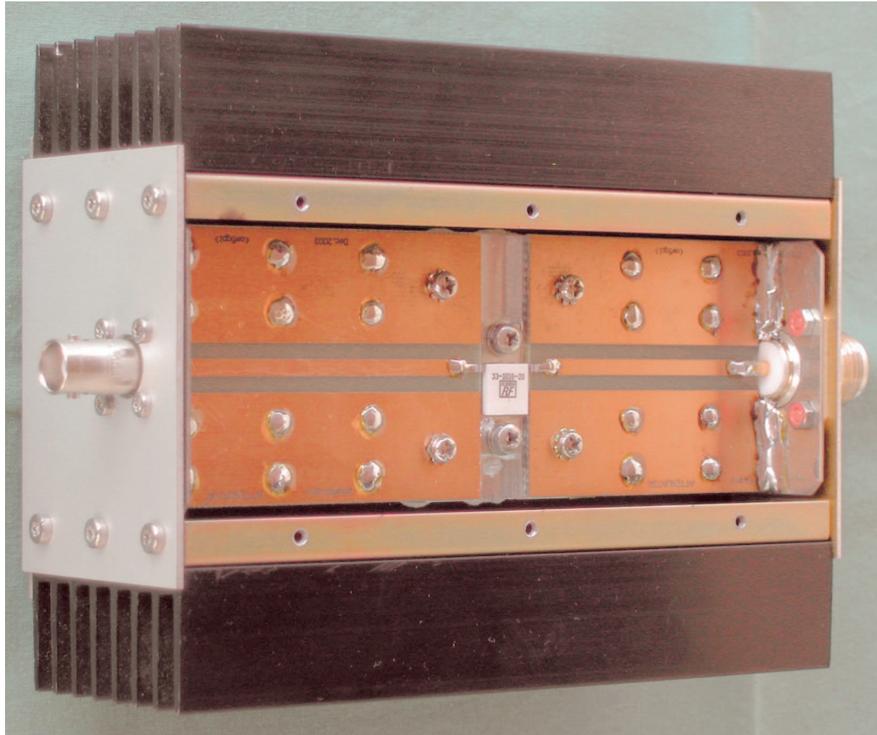


Abb. 8: Innenansicht

Die beiden quer zur Streifenleiter-Platine liegenden Außenkanten des Anschlußblocks wurden an der Oberseite 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 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 darstellt.

### 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

## Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

optimal funktioniert; andernfalls ist die Temperatur am Abschwächerelement je nach Wärmeübergangswiderstand ein Stück höher.



Abb. 9: Das fertige Dämpfungsglied

Die nachstehenden Werte wurden mit einem Anlegethermometer von FLUKE gemessen. Die Meßreihe zeigt 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.

Zeit [s]	10	20	60	120	180	300	600	1200	2400
<b>P = 20 W:</b>									
A [° C]				39,5		42,6	46,4	51,0	55,4
B [° C]				35,6		38,6	42,1	46,7	50,8
C [° C]				34,0		37,3	40,9	45,1	48,8
D [° C]				32,2		34,5	37,8	42,0	45,7
<b>P = 50 W:</b>									
A [° C]			53,0	56,4	60,0	66,3	77,8	91,2	
B [° C]			41,9	45,5	48,7	54,7	66,1	79,5	
C [° C]			36,3	40,4	43,5	49,4	60,7	75,7	
D [° C]			30,8	34,3	37,2	42,6	52,7	68,2	
<b>P = 80 W:</b>									
A [° C]		58,0	66,5	73,3	78,8	89,4			
B [° C]		43,2	49,5	56,2	61,1	70,5			
C [° C]		37,2	44,3	49,8	55,2	60,9			
D [° C]		31,5	35,6	40,7	45,6	53,7			

# Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

P = 100 W:											
A [° C]	61,8	69,3	80,1	87,7	94,8						
B [° C]	40,4	46,1	55,5	65,5	71,6						
C [° C]	33,2	38,4	47,5	56,1	61,5						
D [° C]	27,1	28,9	34,1	43,6	52,4						
A: Element-Temperatur [° C]						C: Kühlkörper-Flanschttemperatur [° C]				T <sub>Umg</sub> = 22 ° C	
B: Temperatur des Alu-Blocks [° C]						D: Kühlkörper-Rippentemperatur [° C]					

Tabelle 1: Thermische Meßwerte

Elektrisch:

Aus den nachstehenden Daten und Bildschirmfotos ist ersichtlich, daß dieses Dämpfungsglied für amateurmäßige Meßzwecke durchaus bis zu einer Frequenz von 2 GHz, mit Einschränkungen sogar bis über 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.

Frequenz [MHz]	0	260	520	780	1040	1300	1560	1820	2080	2340	2600
Durchgangsdämpfung [dB]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18	18
Rückflußdämpfung [dB]	52	33,5	25	19	15	15	18	19	17	15	15

Tabelle 2: HF-technische Meßwerte

Abb. 10 zeigt den Dämpfungsverlauf der Meßkabel ohne zwischengeschaltetes Dämpfungsglied, in Abb. 11 ist das Dämpfungsglied eingefügt. Die Dämpfung ergibt sich aus der Differenz der Kurven von Abb. 10 und Abb. 11, bezogen auf die Referenzlinie.

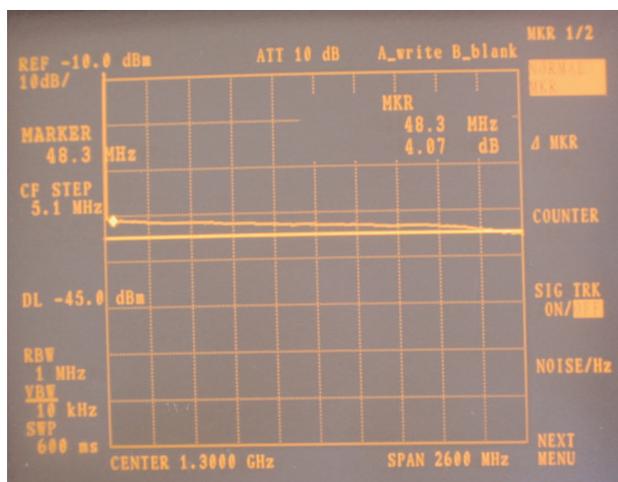


Abb. 10: Dämpfung der Meßkabel

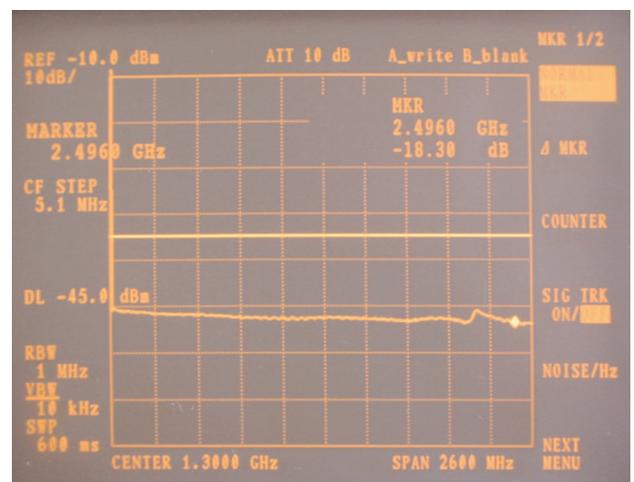


Abb. 11: Verlauf der Dämpfung mit Dämpfungsglied

## Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

Abb. 12 stellt den Verlauf der Rückflußdämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz dar; die Rückflußdämpfung ist wiederum der Differenzbetrag der Kurven von Abb. 10 und Abb. 12, jedoch abzüglich der 20 dB, die der Richtkoppler in die Messung einbringt.

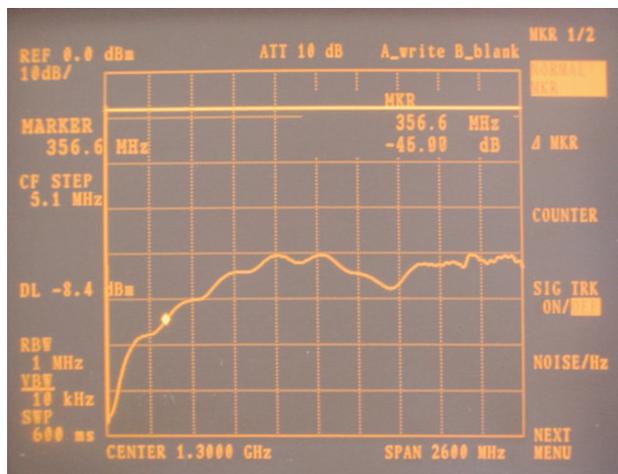


Abb. 12: Verlauf der Rückflußdämpfung

### 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. Bei Geräten, die höheren Ansprüchen genügen oder als Meßeinrichtung brauchbar sein sollen, ist sie in der Regel allein mit bloßen Händen nicht erfolgreich fertigzustellen.

Mir ist bewußt, daß nicht jeder Funkamateur Metallbearbeitungsmaschinen in seiner Werkstatt hat. Aber zum einen werden es immer mehr, die solche Einrichtungen besitzen, und zum anderen haben Freunde oder Bekannte beruflichen 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, der nur 1 Anschlußfahne besitzt, 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/>

## Leistungs-Dämpfungsglied

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

- [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 Oberösterreichischen Amateurfunkverbandes OAFV <http://www.oe5.oevsv.at/>
- [5] Stadelmeyer, H., OE5GPL, FUNK 2004, Heft 02: Leiterplatten selbst herstellen – wirklich keine Kunst!