

Multiplexer für die Mikrowellenbänder

*Wolf-Henning Rech, DF9IC, Eisinger Str. 36/2, 75245 Neulingen,
mailto:whrech@web.de*

1 Konzept einer stationären Mikrowellenstation

Das Schwergewicht der Mikrowellenstationen hat sich in den vergangenen Jahren immer weiter von den portablen zu den stationären Anlagen verschoben. Ursachen dafür ist die stark gestiegenen Sendeleistung, die in Verbindung mit größeren, nicht mehr leicht zu transportierenden Parabolspiegeln auch von weniger günstigen Standorten große Reichweiten ermöglicht.

Wegen des mit der Frequenz steigenden Dämpfungskoeffizienten von Koaxialkabeln sollten dabei die kritischen Komponenten der Station der Antenne umso näher rücken, je höher die Frequenz ist - im 3-cm-Band sind Transverter und PA fast durchweg direkt an der Antenne montiert, im 13- bis 6-cm-Band je nach den lokalen Verhältnissen im Shack, auf dem Dach oder ebenfalls an der Antenne. Teilweise ist auch nur der Empfangsvorverstärker antennen-nah angeordnet und der Rest über ein längeres Koaxkabel abgesetzt (Bild 1).

Die verwendeten Mikrowellentransverter beinhalten meist einen rauscharmen Empfangsverstärker hoher Verstärkung und einen Sendeverstärker mit einer mittleren Ausgangsleistung, wie sie mit der begrenzten Kühlmöglichkeit eines Weißblechgehäuses realisierbar ist. So lassen diese sich mit einem externen ein- bis zweistufigen Leistungsverstärker zur vollwertigen Station ergänzen. Das ZF-Interface ist aus der Zeit des bevorzugten Portabeleinsatzes an Nachsetzer geringer Sendeleistung wie IC202 oder FT290 angepaßt.

Zunehmend sind mittlerweile Sendeverstärker aus kommerziellem Surplus - Mobilfunk, WLL oder Richtfunk - bei Funkamateuren im Einsatz, die üblicherweise vielstufig ausgelegt sind und mit Steuerleistungen im einstelligen mW-Bereich auskommen. Auch diese können in den meisten Fällen antennen-nah montiert werden.

Die Transverter neuer Generation erlauben die Synchronisation der Oszillatoren durch ein 10-MHz-Frequenznormal. Hochwertigere Nachsetzer mit hoher Frequenzgenauigkeit, schmalen CW-Filter und Wasserfall-Spektralanzeige erlauben es, gezielt nach schwächsten Signalen zu suchen, haben aber leider meist keinen expliziten Transverteranschluß und eine recht hohe Sendeleistung, die sich nicht immer zuverlässig und ohne Verschlechterung des Sendesignals wesentlich reduzieren läßt.

Dies ist die Ausgangssituation für die Realisierung eines Multiband-Transvertersystems für 13, 9 und 6 cm beim Autor. Da ein gemeinsamer Parabolspiegel mit 3-fach Ringfeed zum Einsatz kommen soll, ist eine enge Verkopplung zum Schutz der jeweils nicht aktiven Baugruppen sowieso nötig. Gleichzeitiger Empfangsbetrieb auf zwei Bändern mit getrennten Nachsetzern ist erwünscht, um z. B. vergleichende Bakenbeobachtungen machen zu können.

Aus diesen Anforderungen und Erfahrungen anderer Mikrowellenamateure hat sich das Konzept in Bild 2 herauskristallisiert. Alle Transverter sind im Shack angeordnet, haben ein gemeinsames ZF-Interface mit Leistungsdämpfungsglied und nur geringe Ausgangsleistung und Empfangsverstärkung. Sie werden ergänzt durch antennen-nah in einem gemeinsamen

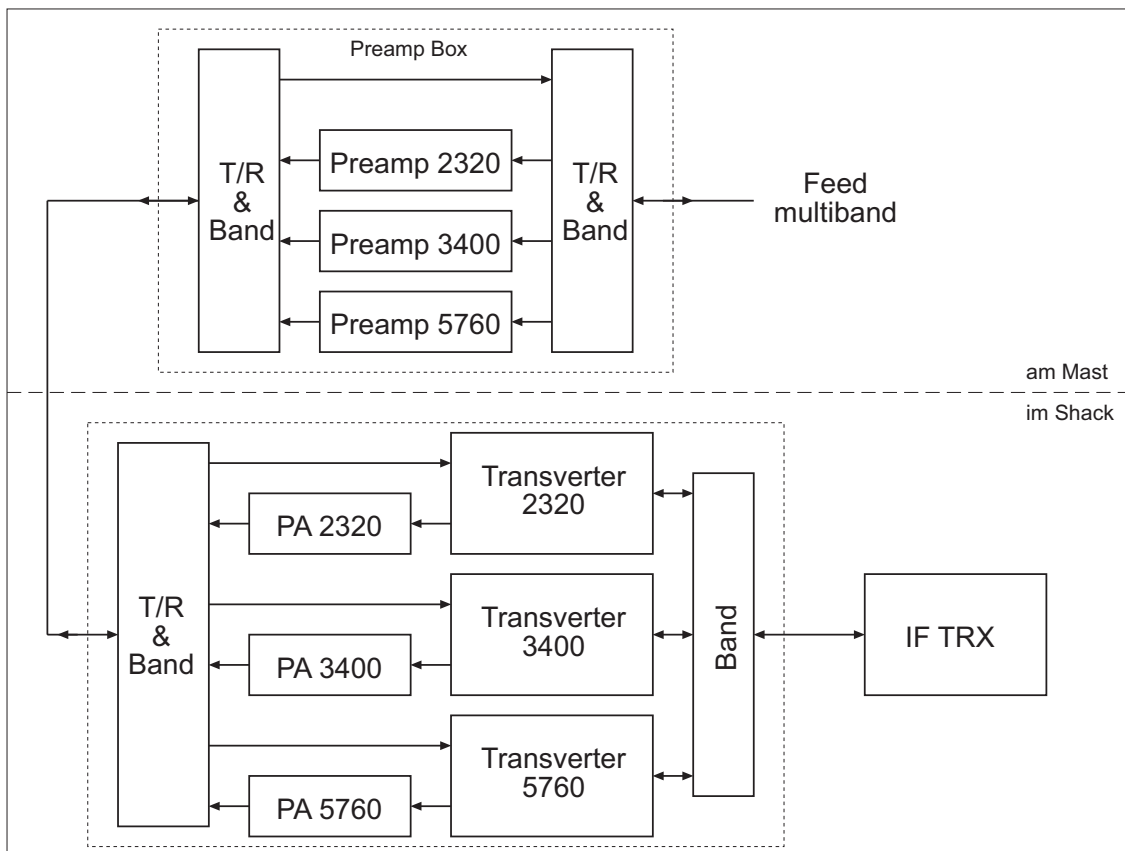
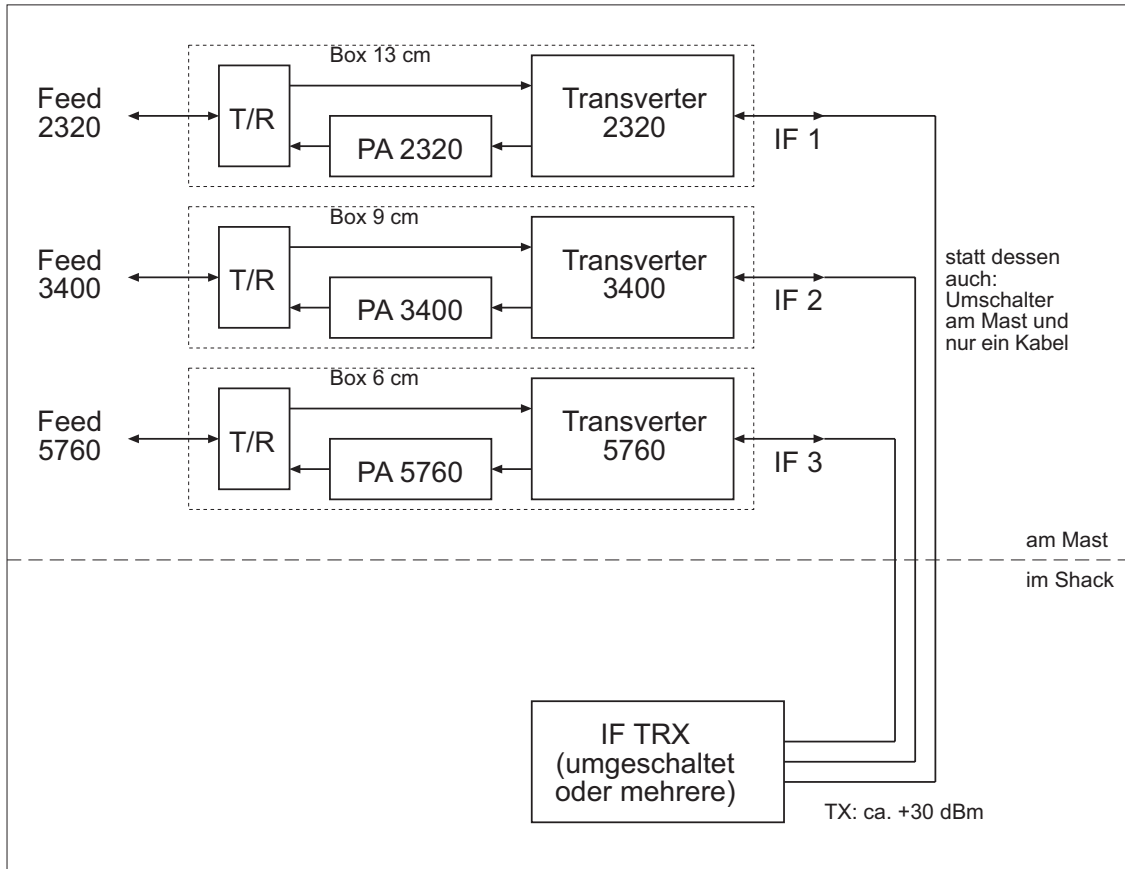


Bild 1 Beispiele von Mikrowellen-Stationskonzepten; oben: Transverter am Mast separat für jedes Band; unten: Transverter im Shack mit Multibandereger und Vorverstärker am Mast.

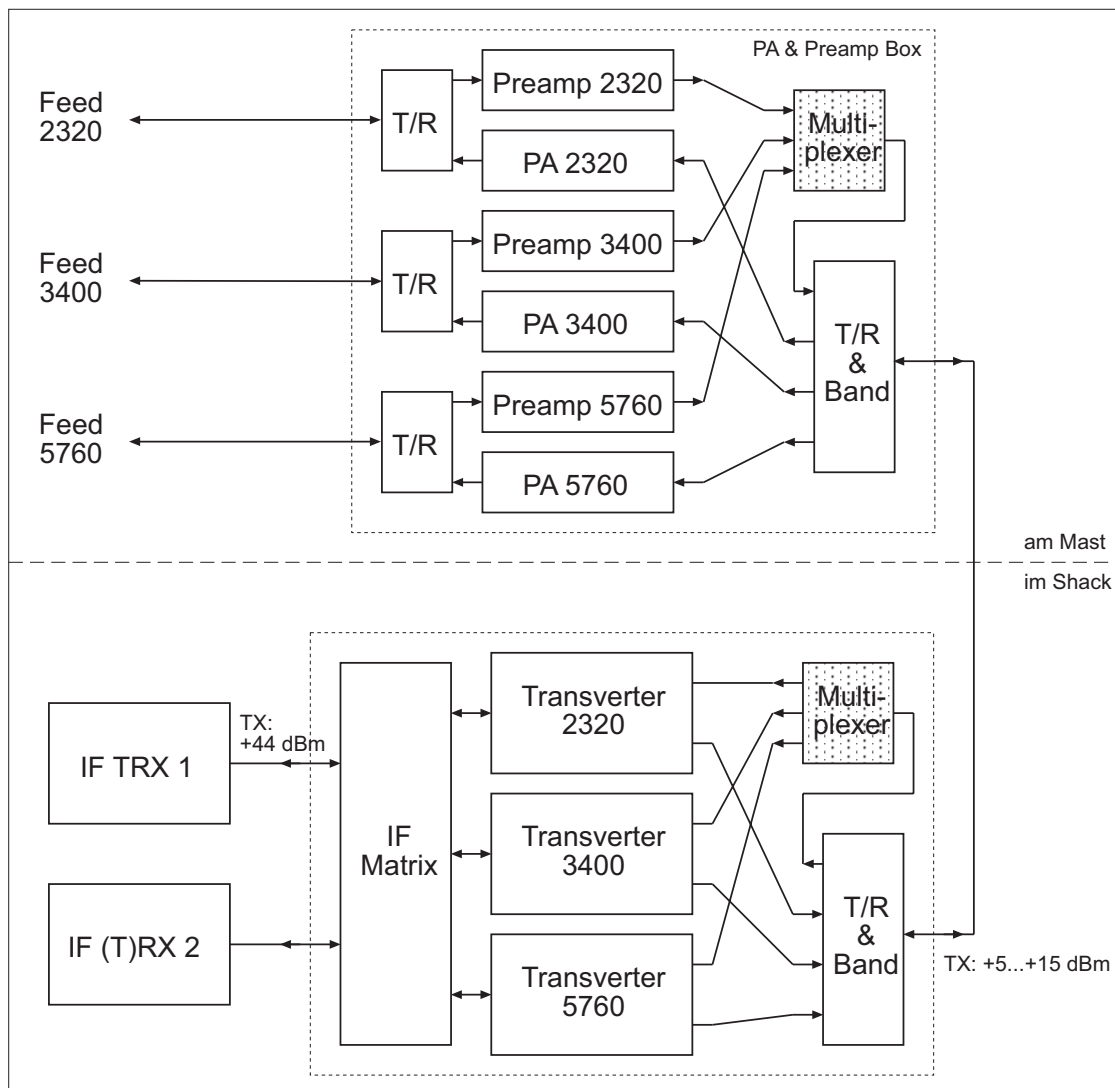


Bild 2 Geplantes Stationskonzept bei DF9IC

Gehäuse installierte Empfangsvor- und Sendeleistungsverstärker für die einzelnen Bänder. Zur Verbindung der beiden Teile der Station genügt ein einziges Koaxkabel.

Die Transverter sind so jederzeit für eine mögliche Reparatur zugänglich, nicht den Temperaturschwankungen und Erschütterungen am Mast ausgesetzt; ebenso wird das Gewicht am Mast minimiert, insbesondere, wenn ein gemeinsamer Kühlkörper für alle Leistungsverstärker verwendet wird. Nachteilig ist natürlich, daß bei einem Defekt in den Verstärkern die gesamte Verstärkerbox abgebaut werden muß, also alle Bänder während der Reparatur ausfallen, und daß Änderungen in diesem Bereich mit getrennten Boxen einfacher wären.

Um eben nicht für jedes Band ein eigenes Koaxkabel zu benötigen und dennoch gleichzeitigen Mehrbandempfang zu ermöglichen, ist für ein solches Konzept ein Multiplexer sinnvoll, der die Bänder 13 - 6cm zusammenführt und wieder trennen kann. Da alle Signale bereits verstärkt sind, aber auch nur im Kleinsignalbereich liegen, sind die Anforderungen an Einfügungsdämpfung und Isolation nicht allzu hoch. Der Einsatz in einem Sendezweig im Bereich kleinerer Sendeleistungen bis ca. 1 W ist ebenfalls möglich und kann Relais sparen.

Auf Anregung von Uwe, DL1SUZ, wurde das 23-cm-Band gleich mit aufgenommen.

2 Konzept des Multiplexers

Ein Multiplexer setzt sich aus mehreren Filtersektionen zusammen, die so ausgelegt sein müssen, daß sie sich im gemeinsamen Punkt gegenseitig wenig beeinflussen und diese Restbeeinflussung in den anderen Filtern kompensiert werden kann. Im vorliegenden Fall ist diese Aufgabe nicht ganz leicht zu lösen - es handelt sich um 4 Bänder mit einem Frequenzverhältnis von mehr als 4:1, und da konzentrierte Bauelemente zu sehr mit parasitären Eigenschaften behaftet und zu schlecht reproduzierbar wären, müssen Leitungsstrukturen zur Filterung eingesetzt werden, die ein unerwünschtes periodisches Verhalten im Frequenzgang aufweisen.

Mehrere Bandpässe in einem Punkt zusammenzuschalten erscheint nicht zielführend, daher wurde eine mehrstufige Struktur gewählt, deren einzelne Stufen jeweils aus einer Tiefpaß-/Bandpaß-Kombination (Bild 3) bestehen. So wird - beginnend mit dem höchsten Band - ein Band nach dem anderen aus der Hauptleitung ausgekoppelt und diese direkt danach mit einem Tiefpaß versehen, der bei der ausgekoppelten Frequenz einen Dämpfungspol aufweist. Tiefpaß und Bandpaß sind durch eine $\lambda/4$ -Leitung so entkoppelt, daß für die Resonanzfrequenz des Bandpasses dieser durch den Rest der Struktur nicht belastet wird. Das Ganze ist dreimal kaskadiert und aus Platzgründen auf der Leiterplatte gefaltet. Das niedrigste Band benötigt keinen eigenen Resonator, dafür genügt die Tiefpaßstruktur.



Bild 3 Kaskadierbares Bandpaß-/Tiefpaß-Element zur Auskopplung eines Frequenzbands

Die Bandpässe sind $\lambda/2$ -Resonatoren, die zu einem „Hairpin“ zusammengefaltet sind und ein- und ausgangseitig lateral gekoppelt werden. Breite und Abstände wurden nach Kriterien der Fertigbarkeit gewählt - größere Abstände wären zwar leichter herstellbar, erhöhen aber die Einfügungsdämpfung und verschmälern die Bandbreite so, daß die Resonatorlänge wiederum deutlich kritischer wird. Der Tiefpaß besteht aus zwei offenen Stichleitungen, die für das zuvor ausgekoppelte Band $\lambda/4$ lang sind, und einer Verbindung, die die Kapazität der Stichleitungen bei niedrigen Frequenzen kompensiert. Die Einzelsektion und in einem zweiten Schritt der gesamte Multiplexer wurden per Rechnersimulation [1] dimensioniert und dann experimentell feinabgestimmt.

3 Realisierung

Da alle Filter vollständig aus Mikrostreifenleitungen aufgebaut sind, kommt es im wesentlichen auf eine ausreichend gute Qualität der Belichtungsvorlage an. Diese sollte mit einem 1200-dpi-Drucker erstellt werden, auf Transparentfolie so gedruckt, daß die Druckseite direkt auf der Fotoschicht der Leiterplatte aufliegt. Belichtung und Ätzung sollten dann mit vernünftigen Parametern vorgenommen werden, um exzessive Unterätzung zu vermeiden. Kleinere Fehler sind aber durchaus akzeptabel (Bild 4). Als Leiterplattenmaterial wird RO-4003 mit 0,81 mm Substratdicke benutzt.

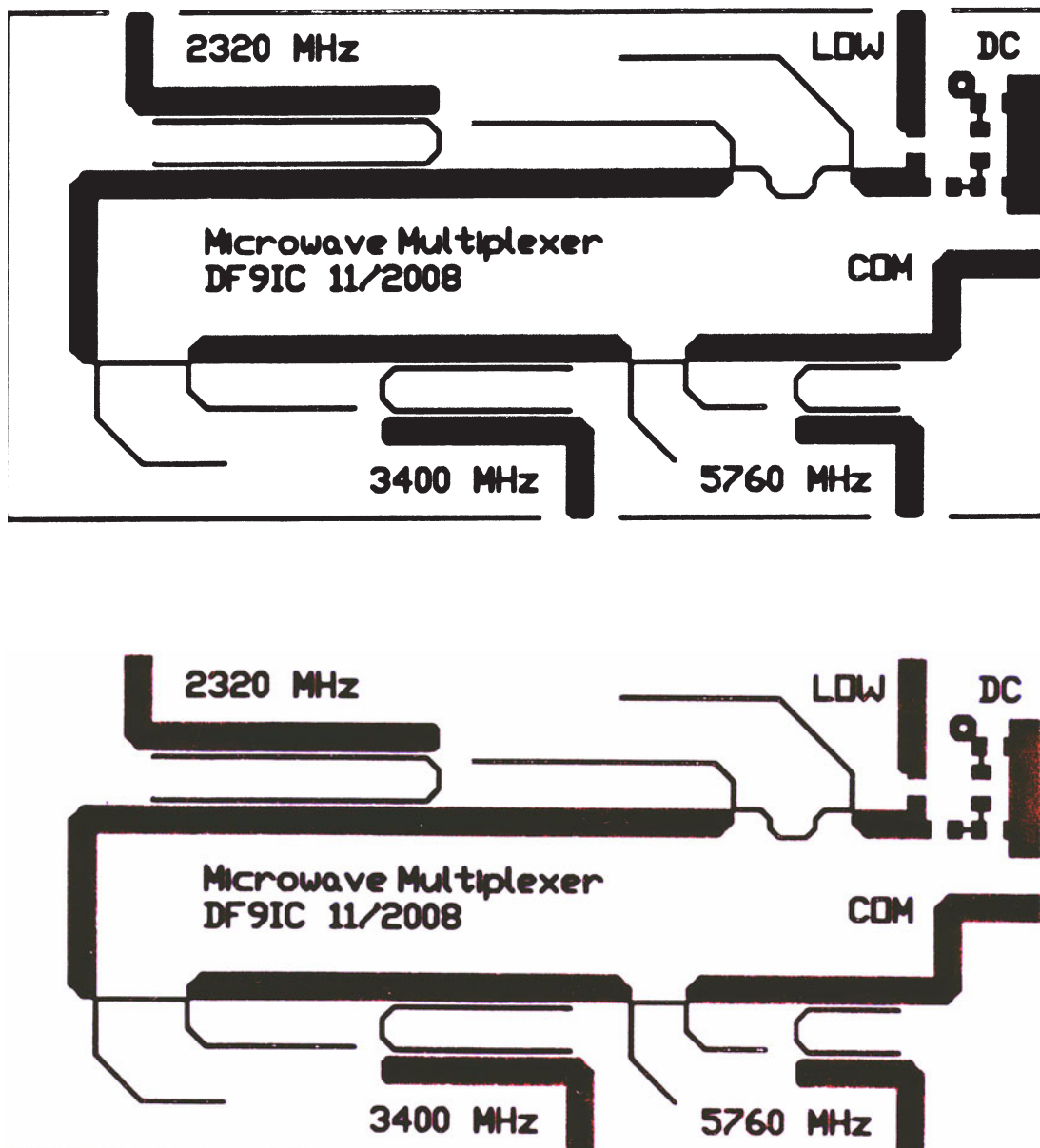


Bild 4 Scan des Layoutdrucks (oben) und der daraus hergestellten Leiterplatte (unten), M 2:1, jeweils mit 1200 dpi gescannt

Zusätzlich zu dem 4-Band-Multiplexer wurde die Tiefpaßstruktur noch um ein Bias-T ergänzt, so daß die Koaxleitung auch für Schaltspannungen oder langsame Datenübertragung mitverwendet werden kann. Wenn diese Option nicht genutzt werden soll, kann der Koppelkondensator am 23-cm-Ausgang auch durch ein Stück Kupferfolie in Leiterbahnbreite ersetzt oder vor der Leiterplattenherstellung im Layout „übermalt“ werden. Bild 5 zeigt die mögliche Bestückung.

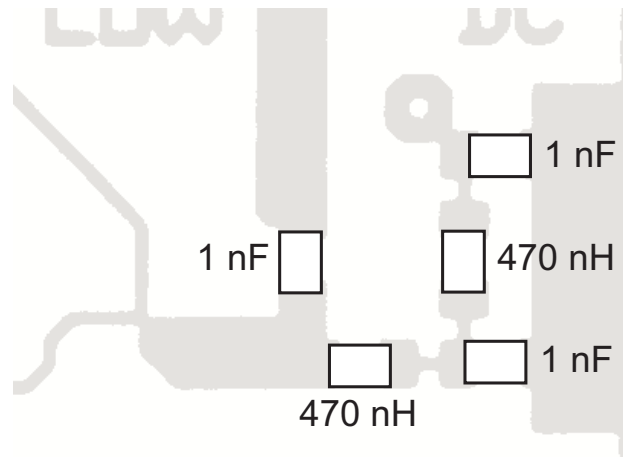


Bild 5 Bestückungsplan des Bias-T

Die Leiterplatte paßt in ein Weißblechgehäuse der Größe 37 mm x 74 mm, wobei der gemeinsame Anschluß an einer Schmalseite so angebracht ist, daß er direkt an eine Frontplatte oder Gehäusewand montiert werden kann.

Das Layout der Leiterplatte ist bei [2] abrufbar.

4 Ergebnisse

Bild 6 zeigt die Meßergebnisse eines optimierten Prototypen, die Einfügungsdämpfung liegt jeweils um 1 dB, die Isolation zu allen anderen Bändern bei mindestens 20 dB. Das dürfte für den vorgesehenen Zweck ausreichen. Die Messungen wurden an einer Leiterplatte ohne Gehäuse vorgenommen, zur Vermeidung von Gehäuseresonanzen, die zu Dämpfungseinbrüchen führen können, sollte sicherheitshalber Dämpfungsmaterial im Deckel verwendet werden.

5 Referenzen

[1] APLAC: <http://web.awrcorp.com/>

[2] <http://www.df9ic.de>

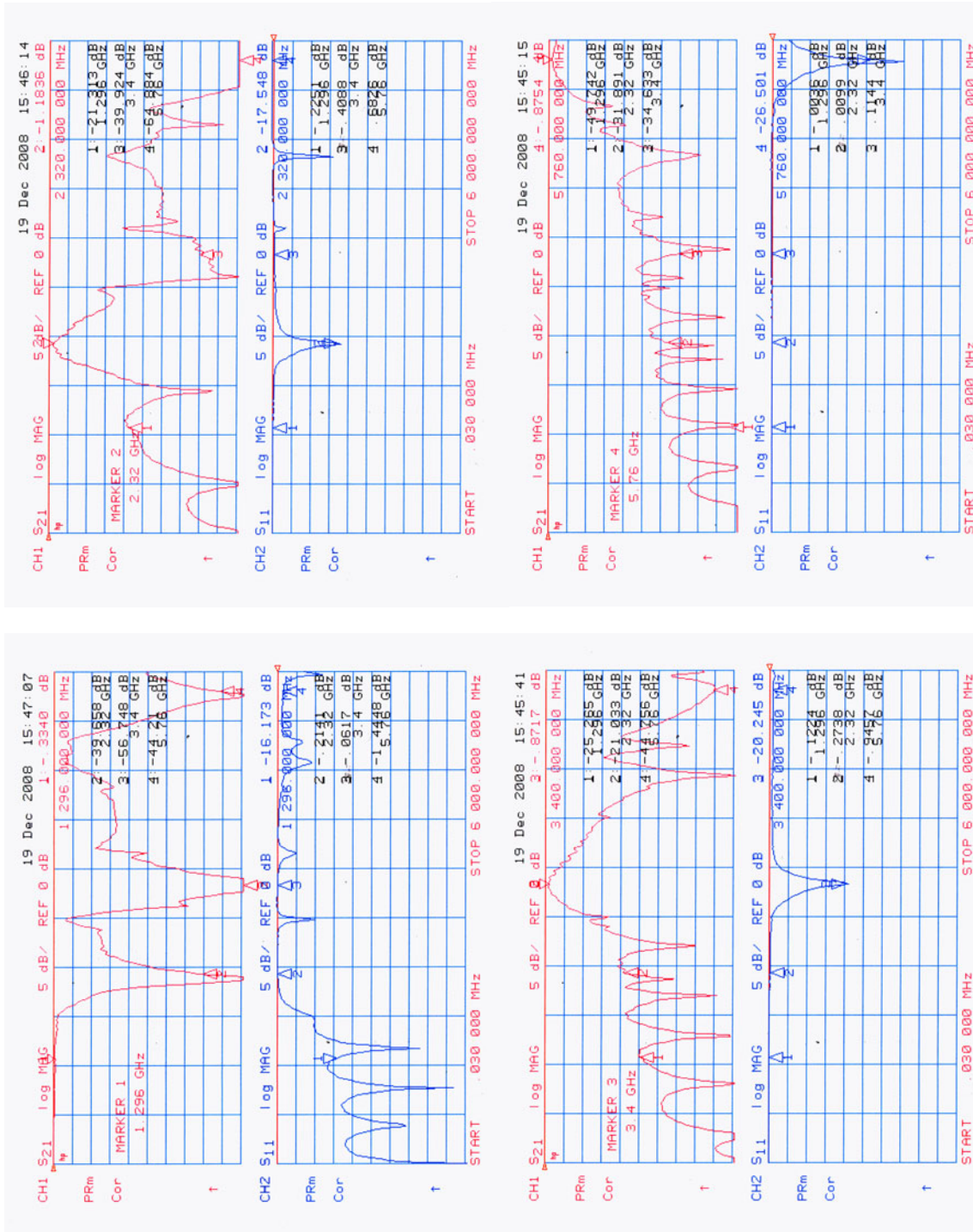


Bild 6 Meßergebnis an jeden der vier Bandeingänge, jeweils Transmission zum gemeinsamen Anschluß und Eigenreflexion bei Abschluß aller anderen Ports.