

51. UKW-Tagung Weinheim

Stocken von UKW-Yagi-Antennen in der Praxis

Martin Steyer, DK7ZB

Adresse: Martin Steyer, Die Aue 2, 37269 Eschwege e-Mail: DK7ZB@fox28.de

Hier soll es um die theoretischen Grundlagen, aber ganz besonders um die praktische Ausführung von gestockten Systemen gehen. Ein Schwerpunkt ist die messtechnische Überprüfung der Anpassung mit einfachen Mitteln.

Theoretische Grundlagen

Allen Anpassschaltungen liegt die Viertelwellentransformation mit Koaxialkabeln oder Anpasstöpfen zu Grunde. Die Grundlagen sind in Bild 1 zu sehen.

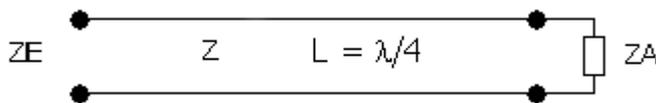


Bild 1

Eine Viertelwellenleitung mit dem Wellenwiderstand Z transformiert den Antennenwiderstand Z_A auf den Eingangswiderstand Z_E nach der Formel

$$Z = \sqrt{Z_A * Z_E}$$

Dabei kann man zwei oder vier Antennen gut zusammenschalten, aber auch andere Kombinationen sind natürlich denkbar.

Grundsätzlich müssen die Koaxkabel innerhalb der Antennengruppen nicht nur vom selben Typ sein, sondern auch aus derselben Herstellungs-Charge. Wenn hier von $\lambda/4$ - oder $\lambda/2$ -Längen die Rede ist, so bezieht sich das auf die Verrechnung des jeweiligen Verkürzungsfaktors, der vom Kabeltyp abhängt. In Tabelle 1 sind gängige Kabel, deren Faktoren und notwendige Längen zusammengestellt. Bei den angegebenen Maßen ist die Abschirmung einschließlich eventueller Stecker bei möglichst kurzen Innenleiterstücken gemeint.

Tabelle 1: Längenstücke für Transformationsleitungen für das 2m-Band (Abschirmung!), in jedem Fall mit Abschlusswiderständen prüfen und eventuell korrigieren (siehe Text)!

Kabeltyp	V	1/4λ	3/4λ	5/4λ	7/4λ	9/4λ
RG-213, RG-59, RG-11	0,667	34,5cm	104cm	180cm	242cm	312cm
Teflon RG-179, RG-188	0,71	37cm	111cm	-	-	-
H-500	0,81	42,1cm	126cm	210,5cm	294,5cm	379cm
Aircell-7	0,83	43,2cm	129,5cm	215,5cm	302cm	388cm
PRG-11/U, H2000flex	0,85	44,2cm	132,5cm	221cm	309cm	397cm

Zusammenschalten von zwei Antennen

Hier gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten, die nachfolgend vorgestellt werden.

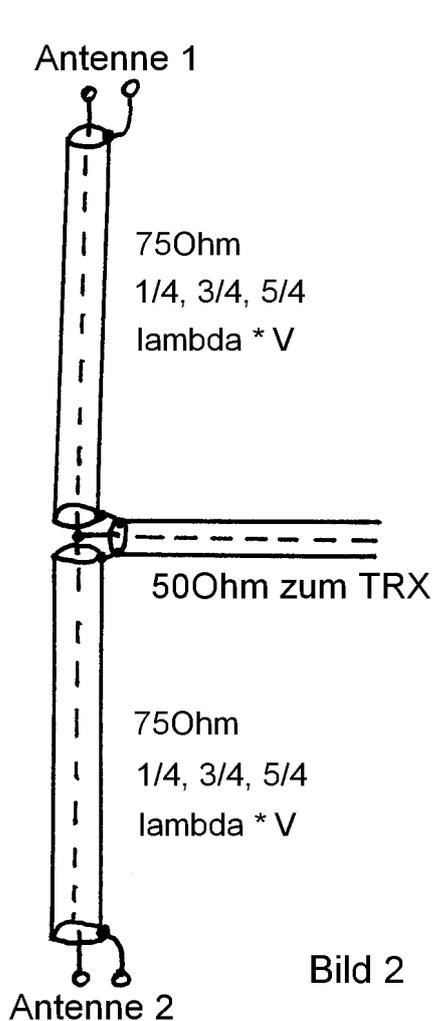


Bild 2

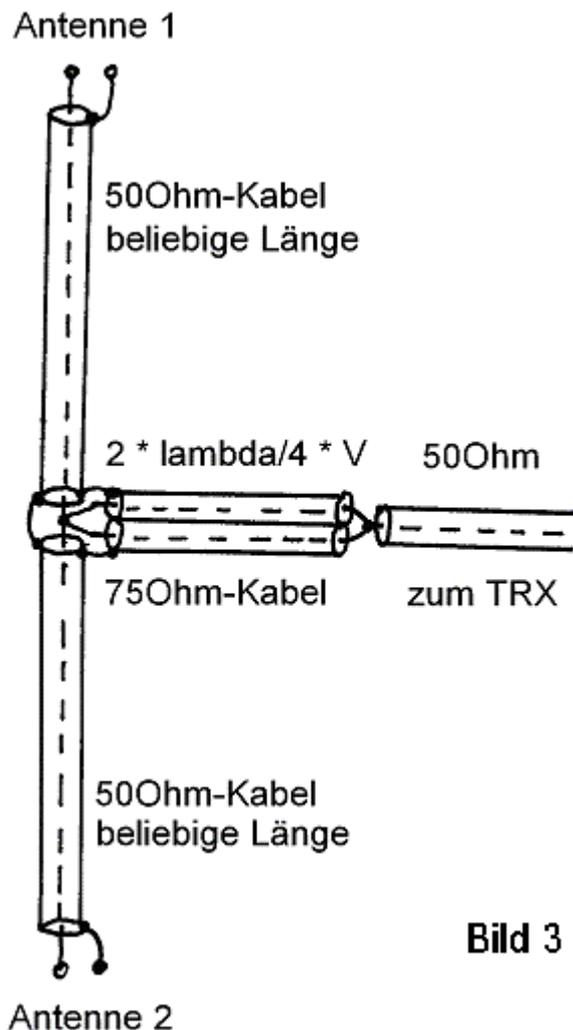


Bild 3

Man kann die beiden Kabel zur Einspeisestelle selbst als Transformationsglieder benutzen, so dass am zusammengeführten Punkt die gewünschten 50 Ω direkt zur Verfügung stehen (**Bild 2**). Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass nur ein verlustarmer Verbindungspunkt auftritt. Der gravierende Nachteil ist, dass sich bei größeren Stockungshöhen mit Längen von $7/4-\lambda$ oder $9/4-\lambda$ mögliche Fehler bei der Längenbemessung multiplizieren und man Phasendrehungen auf dem Kabel bei fehlenden Transformationsigenschaften bekommt.

Theoretisch müsste das Kabel einen Wellenwiderstand von 70,6 Ω besitzen, um für jede Leitung am Punkt X einen Wert von 100 Ω zu erreichen, der bei Parallelschaltung die gewünschten 50 Ω besitzt. Mit handelsüblichem 75 Ω -Kabel bleibt aber das zusätzliche SWV mit $<1,15$ im tragbaren Bereich.

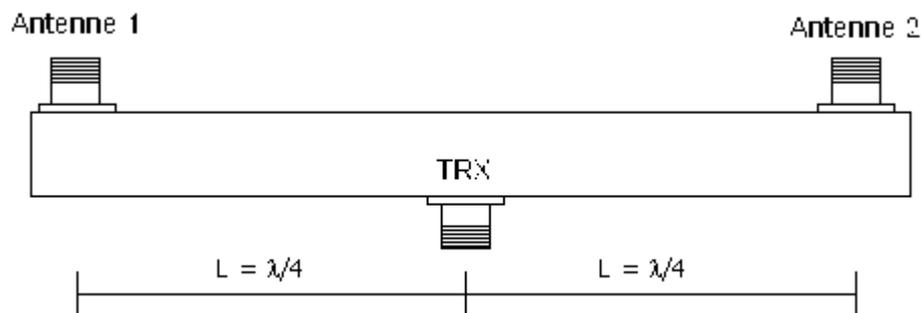
Die beschriebene Fehlervielfältigung wird durch eine andere Methode vermieden, die bis zum Punkt X_1 in **Bild 3** beliebige Längen L_1 von 50 Ω -Kabel benutzt. Diese ergeben durch Parallelschalten an X_1 einen Wert von 25 Ω , erfordern aber einen weiteren Verbindungspunkt. Mit einem nur $\lambda/4$ langen Kabelstück L_2 muss dann dieser Wert auf 50 Ω bei X_2 gebracht werden, wozu zwei parallele 75 Ω -Kabel eingesetzt werden. Theoretisch wären dazu 35,4 Ω nötig, die tatsächlichen 37,5 Ω ergeben die gleiche, geringfügige Fehlanpassung wie bei der vor beschriebenen Anpassungsvariante. Es ist immer sinnvoll, für die Verbindungsstücke Halbwellenlängen zu verwenden, um ungewollte Transformationseffekte zu vermeiden.

Anstelle von L_2 kann auch ein koaxialer Anpasstopf als Zweifach-Verteiler benutzt werden. Dieser wird nach **Bild 4** oder **Bild 5** aufgebaut. Auf die Wirkungsweise und den Aufbau gehen wir weiter hinten ein.



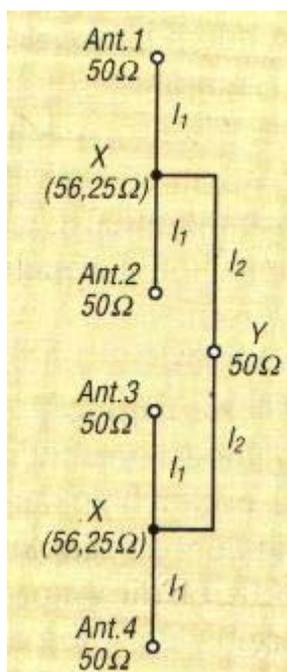
Bild 5

Anpaßtopf nach dem $\lambda/2$ -Prinzip



Zusammenschalten von vier Antennen

Zunächst soll eine Möglichkeit vorgestellt werden, die für 4 vertikal gestockte Yagis, wie es für Kontestbetrieb optimal ist, mit möglichst geringer Dämpfung auskommt. Dazu werden die notwendigen Längen minimiert und anstelle von 50Ω -Kabeln werden solche mit 75Ω eingesetzt. Der Vorteil liegt in der physikalisch bedingten, niedrigeren Dämpfung vergleichbarer Kabel. **Bild 6** zeigt, wie die Impedanzverhältnisse zustande kommen.

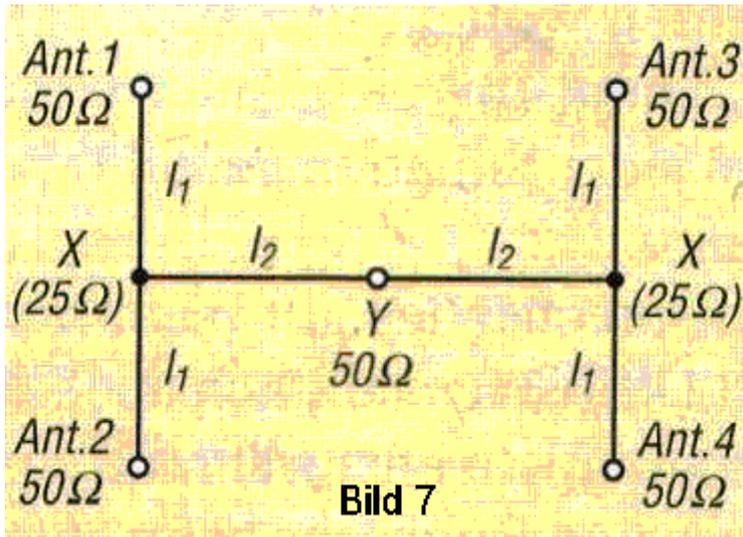


Jeweils zwei Antennen werden über 75Ω -Kabel (l_1) verbunden, die aus Längen von ungeradzahligem Vielfachen von $\lambda/4$ bestehen. Sie transformieren auf $112,5\Omega$ an den Punkten X. Dort ergibt sich durch Parallelschalten ein Impedanzwert von $56,25$.

Nun transformieren wieder 75Ω -Kabel mit der Länge l_2 auf 100Ω am Punkt Y, an dem sich wiederum durch Parallelschaltung der Widerstandswert halbiert und die erwünschten 50Ω anstehen. Für diese Anpassung bietet sich der Kabeltyp PRG11/CU an, der Vergleichstyp zum bekannten H-500 mit 50Ω .

Alternativ kann man natürlich auch mit 50Ω -Kabeln arbeiten. Dann sind die Längen l_1 aus beliebig langen 50Ω -Stücken und an X ergeben sich 25Ω .

Für l_2 muß man dann wieder Viertelwellenstücke zum Transformieren auf 100Ω an Y verwenden, die den gewünschten Anschlußwert von 50Ω ergeben.



Für eine Anordnung im H-Kreuz bietet sich wieder eine Konfiguration an, die nur mit zwei $\frac{1}{4}\lambda$ langen Kabelstücken auskommt, deren Länge exakt stimmen muss. In Abbildung x sind die Abschnitte l_1 jeweils exakt gleichlange 50Ω -Kabel, optimal wieder mit $\lambda/2$ -Vielfachen, und l_2 ebenfalls 50Ω -Kabel mit einer Viertelwellenlänge.

Es empfiehlt sich die Stücke l_2 nur jeweils $1 * \lambda/4$ lang zu machen und dafür l_1 zu verlängern

Aufbau von Anpasstöpfen

Hierbei nutzt man das Prinzip, dass ein System aus einem Innen- und Außenleiter einen definierten Wellenwiderstand Z besitzt, der vom inneren und äußeren Durchmesser D und d abhängt (**Bild 8**). Dabei ist es ohne Bedeutung, ob die beiden Abmessungen rund oder quadratisch sind. Aus praktischen Gründen empfiehlt es sich allerdings, den Außenleiter quadratisch auszuführen, weil die Montage von Koaxialbuchsen so problemlos möglich ist. Dazu benutzt man Aluminium-Vierkantrohre mit $30 \times 2\text{mm}$, $25 \times 2\text{mm}$ oder $20 \times 1,5\text{mm}$, die Innenmaße von 26mm , 21mm und 17mm ergeben.

Der Innenleiter wird aus Rundmaterial ausgeführt, wobei sich Aluminium- oder Kupferrohre anbieten. Messing sollte vermieden werden, weil es eine deutlich schlechtere Leitfähigkeit aufweist.

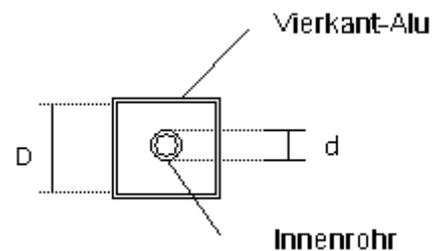


Bild 8

Das Verhältnis D/d bestimmt den Wellenwiderstand der Anordnung. Dieser lässt sich nach LA0BY [1] mit der folgenden Näherungsformel bestimmen:

$$Z_L = 138 \times \log_{10} (D/d) + 6,48 - 2,34 \times A - 0,48 \times B - 0,12 \times C$$

Dabei sind A, B and C definiert als:

$$A = (1 + 0,405 / (D/d)^4) / (1 - 0,405 / (D/d)^4)$$

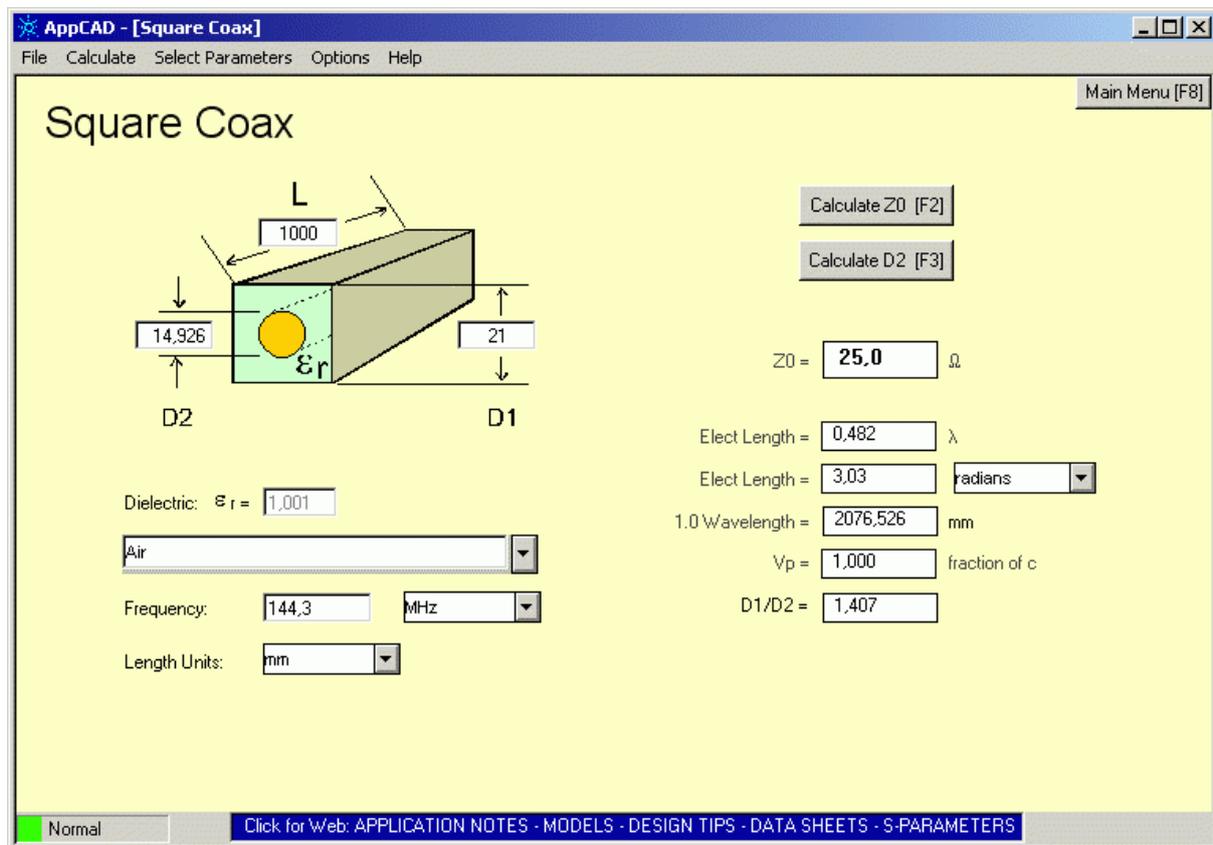
$$B = (1 + 0,163 / (D/d)^8) / (1 - 0,163 / (D/d)^8)$$

$$C = (1 + 0,067 / (D/d)^{12}) / (1 - 0,067 / (D/d)^{12})$$

Die errechneten Maße müssen relativ genau eingehalten werden, leider haben handelsübliche Rohre und Profile meist nicht die richtigen Durchmesser.

Hervorragend geeignet für die Berechnung ist das kostenlos erhältliche Programm AppCAD von Agilent Technologies [2]. Es enthält eine Fülle für den UKW- und Mikrowellen-Amateur nützliche Berechnungsunterlagen. Darunter befinden sich auch die Konstruktionsgrundlagen für Viertelwellenanpasstöpfe mit quadratischem Außenleiter und rundem Innenleiter. Berechnet werden nach Vorgabe der mechanischen Maße der Wellenwiderstand, es können

aber auch der Wellenwiderstand und der Außenleiter vorgegeben werden, dann wird der Durchmesser des Innenleiters ermittelt. **Bild 9** zeigt einen Screenshot dieses exzellenten Werkzeugs. Hier sind die Werte für einen Wellenwiderstand von 25Ω für $144,3\text{MHz}$ zu erkennen.



Die beschriebenen Anpasstöpfe wurden nach den AppCAD-Maßen gebaut, sie erwiesen sich als voll gebrauchsfähig. Gegenüber den LA0BY-Angaben weichen sie geringfügig ab.

Anstelle der 2-fach-Töpfe kann man auch 4-fache bauen, dann befinden sich jeweils weitere Buchsen an den Enden.

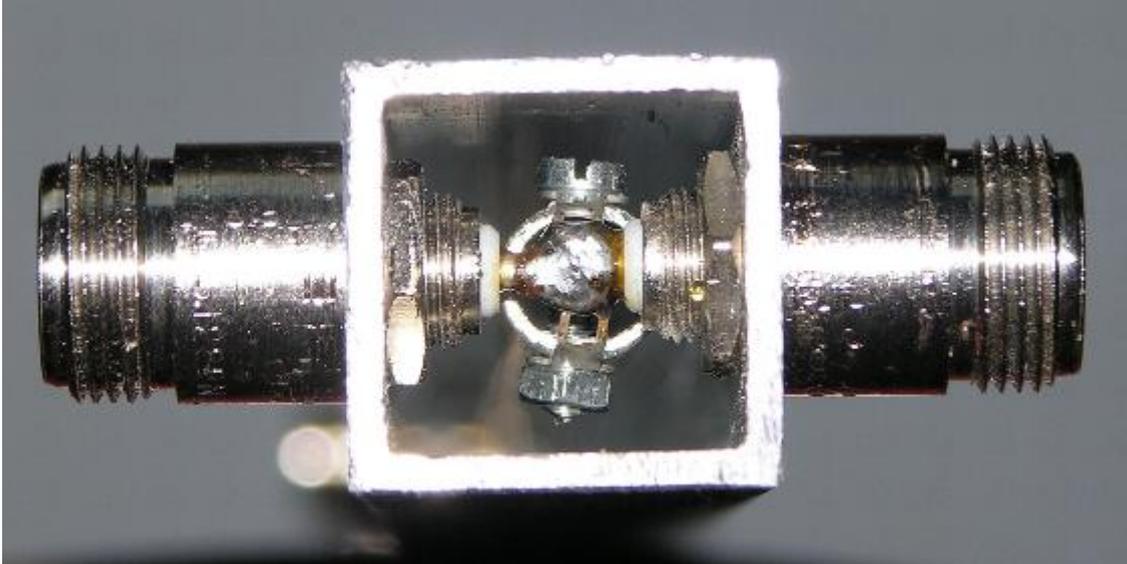
Tabelle 2:

Durchmesser für koaxiale Anpaßtöpfe nach den Bildern 4 und 5. Angaben für D (Innendurchmesser quadratischer Außenleiter) und d (Außendurchmesser runder Innenleiter) jeweils in mm.

Koppler-Typ	gef. Z_L	Frequenz	L	D	d	tats. Z_L
2-Weg Typ 1	$35,4 \Omega$	144 MHz	50 cm	26 mm	15 mm	$37,5 \Omega$
2-Weg Typ 1	$35,4 \Omega$	432 MHz	16,6 cm	26 mm	15 mm	$37,5 \Omega$
2-Weg Typ 2	$70,7 \Omega$	432 MHz	16,6 cm	17 mm	6 mm	$65,9 \Omega$
2-Weg Typ 2	$70,7 \Omega$	432 MHz	16,6 cm	17 mm	5,5 mm	$71,2 \Omega$
4-Weg Typ 2	$50,0 \Omega$	144 MHz	50 cm	21 mm	10 mm	$49,0 \Omega$
4-Weg Typ 2	$50,0 \Omega$	432 MHz	16,6 cm	21 mm	10 mm	$49,0 \Omega$

In der Tabelle sind der geforderte und der tatsächliche Wellenwiderstand zu entnehmen.

Wie ein Aluminiumrohr angeschlossen werden kann, ist in **Bild 10** zu erkennen. Mit einer M3-Schraube und –Mutter werden zwei versilberte Lötösen gehalten, die den Kontakt mit dem Mittelstiften der beiden N-Buchsen herstellen.



Als Beispiel für einen 4-fach-Topf vom Typ 2 soll **Bild 11** dienen. Hier wurde ein Aluminium-Vierkantrrohr 25x25x2mm mit dem Innenmaß von 26mm mit einem 10mm-Alurohr kombiniert, was einen Wellenwiderstand von 25Ω ergibt. Das gemessene SWR dieses Topfes bei 144,3MHz und Abschluss mit R+S-Messwiderständen ist $<1,1$.



„Low-cost“- Anpasstöpfe nach DK7ZB

Wer handwerklich weniger Aufwand treiben möchte und trotzdem zu guten Ergebnissen kommen will, kann die beschriebenen $\frac{1}{4}\lambda$ -Koaxialkabel-Leitungen in Vierkantröhrn unterbringen. Damit hat man ebenfalls saubere, kurze Masseverbindungen und eine stabile Montagefläche für die Koaxialbuchsen. Dabei werden vor dem Einbau die Abschirmungen mit Lötösen verbunden, diese werden dann im Rohr verschraubt. Dazu reichen einfache Lötverbindungen aus, die mit einem 30Watt-Kolben ausgeführt werden können.

Beim Vergleich mit Bild 3 wird deutlich, was damit gemeint ist. Hier kann man das parallelgeschaltete Transformationsstück aus den 75Ω -Kabeln in einem Alu-Vierkantröhr unterbringen.

Überprüfen der Anpassung

Selbstverständliche Voraussetzung ist eine Überprüfung der Anpassung jeder einzelnen Antenne vor dem Zusammenschalten zu Gruppen. Dann sollten die Transformationskabel zusammengeschaltet werden und anstelle der Antennen induktionsarme 50Ω -Abschlusswiderstände eingesetzt werden. Als Beispiele können zwei Ausführungen mit BNC- und N-Buchsen dienen (**Bilder 12** und **13**) Dabei sind $6 \times 300\Omega$ -Metallschichtwiderstände (Fa. Reichelt [3]) mit je $\frac{1}{4}$ -Watt Belastbarkeit und 1% Toleranz mit möglichst

kurzen Anschlüssen parallel geschaltet. So ergibt sich für 2m ein SWR von 1,0, bei 70cm <1,1 für jeden Widerstandsigel.

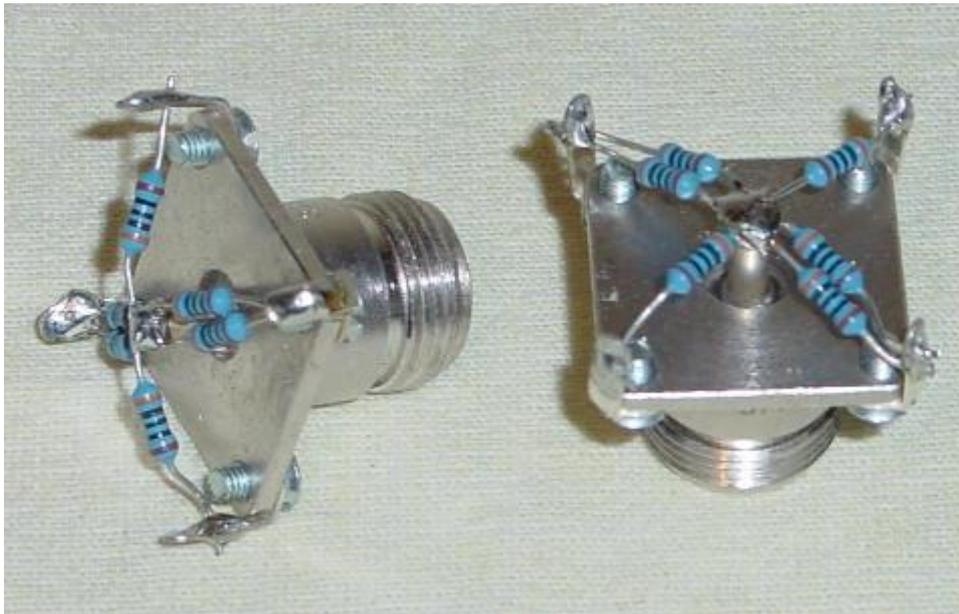


Bild 12

Selbstgebaute Abschluss-Widerstände mit 50Ohm und N-Buchsen.

Bei Messungen an Anpassgliedern und Antennen sollten immer Kabel mit Längen von Vielfachen einer Halbwellenlänge eingesetzt werden. An einem Beispiel soll verdeutlicht werden, was passieren kann, wenn man darauf nicht achtet. Hat man zufällig ein Speisekabel mit ungeradzahligem Vielfachen von $\frac{1}{4}\lambda$, so tritt bei einer tatsächlichen Impedanz von 45Ω ein Messergebnis von 55Ω auf! Derlei Verfälschungen am Ende von Speisekabeln durch Transformationseffekte sollte man immer berücksichtigen.

Bild 13

Abschluss-Widerstände mit 50Ohm und BNC-Buchsen.



Durch Messen der Anpassung auch oberhalb und unterhalb der jeweiligen Bänder findet man schnell heraus, ob die Längen richtig bemessen wurden. Notfalls müssen die Kabel entsprechend korrigiert werden.

Es ist möglich, einzelne Antennen in einer Gruppe durch die beschriebenen 50 Ω -Widerstände zu ersetzen. Damit kann im Zweifelsfall bestimmt werden, an welcher Stelle eine mögliche Fehlanpassung ihren Ursprung hat.

Vor dem Aufbau der Antennenanlage empfiehlt es sich daher immer, alle Kabel und Steckverbindungen einem entsprechendem Test zu unterziehen.

Literatur- und Quellenangaben:

[1] Heck, S. (LA0BY): Antenna couplers for 144 and 432 MHz,
http://www.qsl.net/la0by/Antenna_couplers.doc

[2] Programm AppCAD 3.0.2 von Agilent Technologies, kostenloser Download von
<http://www.hp.woodshot.com>

[3] Fa. Reichelt-Elektronik, <http://www.reichelt.de>