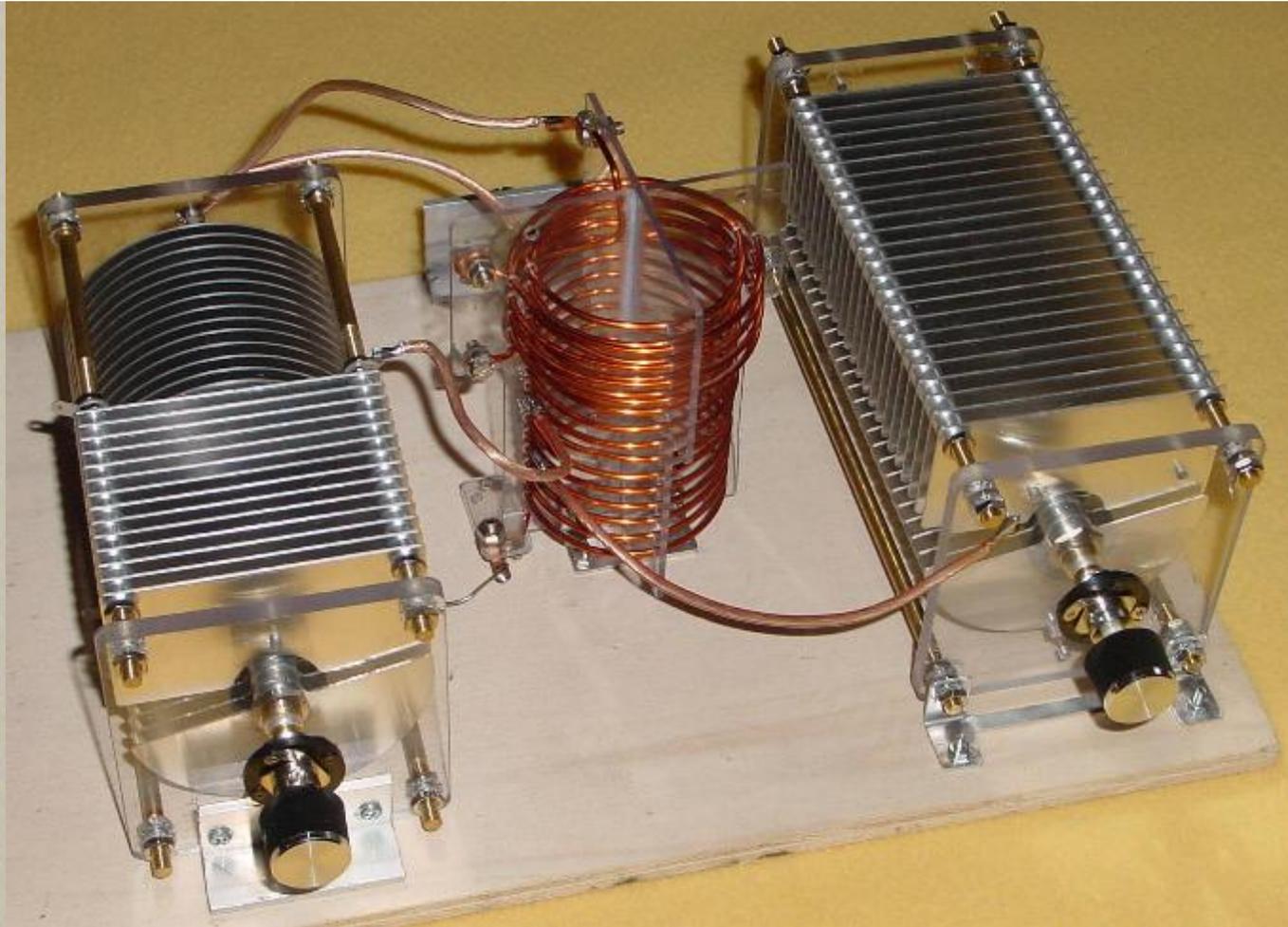


<a href="#">Übersicht</a>	<a href="#">Transmatch-Tuner</a>	<a href="#">LC-Langdraht-Tuner</a>	<a href="#">Mini-Tuner für FT-817</a>	<a href="#">Test LDG AT-100 Pro II</a>
<a href="#">Palstar AT1500BAL</a>	<a href="#">Test SGC-Stealth-Kit</a>	<a href="#">Z-Match für 1KW</a>	<a href="#">Test MFJ-964HB</a>	<a href="#">Test AT2K/AT2KD</a>

## Z-Match-Antennenkoppler für hohe Leistungen

Für den Selbstbau der Spule hier ein ausgezeichneter Link von DL3BCU:

<http://www.mydarc.de/dl3bcu/htm/z-match.htm>

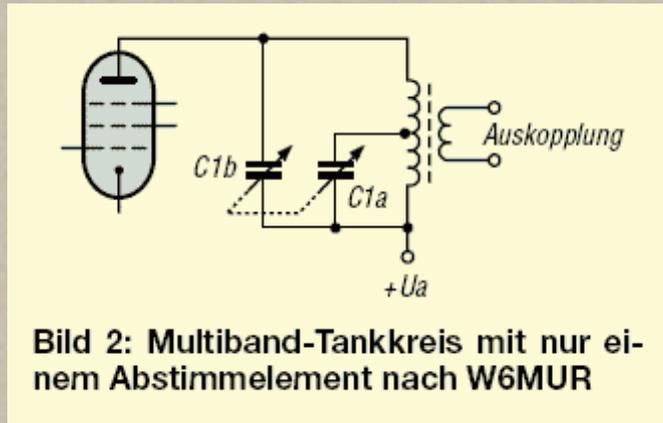


Für QRP-Einsatz erfreut sich die Schaltung des "Z-Match" schon länger großer Beliebtheit, weil sie unkompliziert aufzubauen und leicht abzustimmen ist. Zudem kommt man mit zwei Abstimmelementen aus, was die Möglichkeit eröffnet, auch per Fernsteuerung einen abgesetzten Betrieb zu ermöglichen. Hier soll nun eine Variante vorgestellt werden, die für übliche PA-Leistungen ausgelegt ist und für die Ankopplung einer 50-Ohm-Quelle an eine symmetrische Speiseleitung ("Hühnerleiter") vorgesehen ist.

### Die Schaltung des Z-Match

In den Fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts war es üblich, den Ausgangskreis einer Röhrend- oder Treiberstufe mit Hilfe eines sogenannten "Tank-Kreises" und einer Auskoppel-Induktivität auszulegen. Für jedes Band gab es einen Spulenzapf, der mit Hilfe eines Schalters bei Frequenzwechsel umgeschaltet wurde. Ähnlich sah es bei den Vorstufen aus, so dass mit den Abstimm Drehkos jede Menge

zusätzliche Knöpfe zu bedienen waren. Ein entscheidender Durchbruch kam 1954 mit dem Vorschlag von W6MUR [1]. In Bild 2 erkennt man das Prinzip dieser Schaltungstechnik.



**Bild 2: Multiband-Tankkreis mit nur einem Abstimmeelement nach W6MUR**

Dabei besitzt die Induktivität L einen Anzapf, an dem ein Plattenpaket C1a eines Doppeldrehkos angeschlossen ist, das andere C1b liegt am oberen Punkt des Schwingkreises.

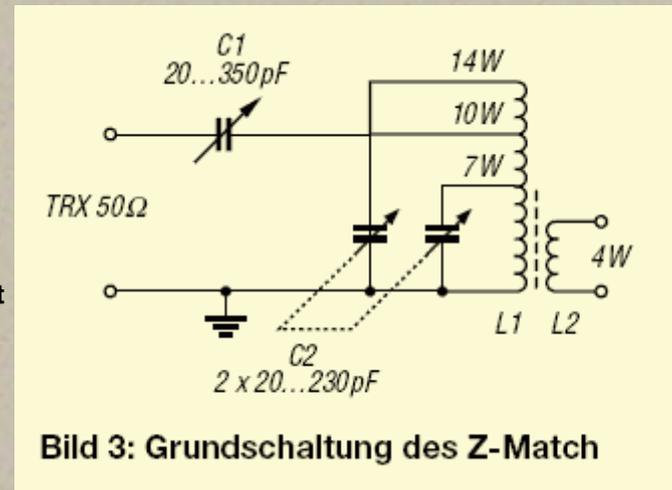
Beim Durchdrehen ist man stets auf zwei Frequenzen in Resonanz. Bei richtiger Wahl der Induktivität und des Anzapfpunktes wird mit dem unteren Spulenteil und C1a von 28-10 MHz abgestimmt, die Bänder 7 und 3,5 MHz werden mit C1b und der vollen Induktivität erfasst. Mit der gleichen Technik baute man früher Preselektoren in Empfängern, die ohne Bandumschaltung auskamen.

Ein Jahr später konstruierte W1CJL [2] einen Antennenkoppler als L-Netzwerk mit dem gleichen Doppeldrehko-Multibandkonzept, das seither als Z-Match bekannt ist (Bild 3). Dabei ist C1 der serielle Zweig eines L-Netzwerkes, die beiden Drehkoabschnitte C2a und C2b bilden den parallelen Zweig zur Abstimmung.

Über eine Linkkopplung wird die Last angeschlossen, hier die Zweidrahtleitung zur Antenne. Für die meisten Anwendungsfälle ist eine Kapazität von 350 pF für C1 und 2x230 pF für C2 ausreichend, wenn man die Bänder 10-80 m abdecken will, eine Erweiterung für 160 m wird weiter hinten vorgestellt.

Die Auskoppelspule L2 befindet sich am kalten Ende von L1 und kann je nach Last mit weniger oder mehr Windungen ausgelegt werden. Bei geschickter Wahl der Gesamtinduktivität und der Anzapfpunkte für C1 und C2a kommt man in der Regel mit 4 Auskoppelwindungen für die Linkspule aus.

Die Auskoppelspule L2 befindet sich am kalten Ende von L1 und kann je nach Last mit weniger oder mehr Windungen ausgelegt werden.



**Bild 3: Grundschialtung des Z-Match**

Wenden wir uns nun einigen möglichen Betriebsfällen für die Abstimmung zu. Prinzipiell gelten einige Zusammenhänge, die näher vorgestellt werden sollen. Grundsätzlich kann man Lastimpedanzen von etwa 10-20 Ohm (Stromkopplung) bis zu etwa 2000 Ohm (Spannungskopplung) anschließen, induktive oder kapazitive Blindanteile auf der Speiseleitung werden in das L-Netzwerk übertragen und mit Hilfe der beiden Drehkos weggestimmt. Für Stromkopplung muss C1 möglichst groß sein, für Spannungskopplung, vor allem auf den höheren Bändern sehr klein. Hier kommt man schnell in einen Zielkonflikt, weil eine große Kapazität des Drehkos C1 zwar den Abstimmbereich auf 80 m erweitert, aber gleichzeitig die Anfangskapazität so vergrößert, dass eine Abstimmung auf 10 m und 12 m nicht mehr möglich ist. Die vorgeschlagenen Werte sind also als Kompromiss anzusehen, die je nach Einsatzzweck abgeändert werden können, dabei sollte man sich vorher aber die grundsätzliche Wirkungsweise klar machen, um keine Enttäuschung zu erleben.

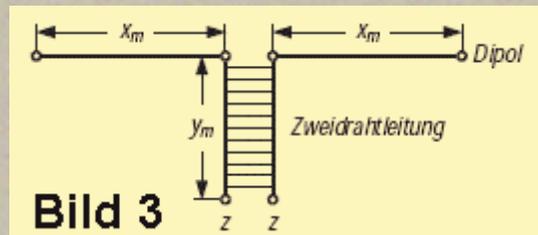
Die meisten verwendeten Antennensysteme kommen den Besonderheiten des Z-Match entgegen, weil bei den niederfrequenten Bändern eher Stromkopplung mit niederohmigeren Speisepunkten vorliegt, auf den höheren meist Spannungskopplung. Dies bedingt zur

Auskopplung für 40 m und 80 m wenig Link-Windungen, für 10 m-20 m mehr. Die feste Windungszahl 4 ist ein guter Kompromiss und kommt beiden Fällen entgegen. Auf zusätzliche Maßnahmen zur eventuellen Impedanzbereichserweiterung kommen wir später noch einmal zurück, genauso wie auf eine zusätzliche Option für 160 m. Wer sich genauere Informationen über die Impedanzverhältnisse verschaffen will, sollte mit einem Antennen-Analyzer am Ende seiner Zweidrahtleitung die jeweiligen Werte überprüfen.

Da das Z-Match einen relativ selektiven Schwingkreis beinhaltet, wird das Empfänger-Frontend gegenüber anderen Kopplervarianten deutlich stärker von Signalen außerhalb des Bandes entlastet. Ein Problem mancher Geräte ist immer an langen Drähten oder einem Doppel-Zepp großer Spannweite (2x20 m) zu beobachten. Auf den höheren Bändern treten im 5-KHz-Raster durch die Signale starker Rundfunksender im 31-m-, 41-m- und 49-m-Band Intermodulationsstörungen (Brummträger, Pfeifen) durch die Schaltdioden der Filterbänke auf. Dies Phänomen ist mit dem Z-Match deutlich reduziert, bzw. ganz verschwunden. Die Befürchtung, dass durch die Doppelresonanz Oberwellen ungehindert abgestrahlt würden, ist unbegründet. Einerseits liegen die beiden Abstimmfrequenzen nicht frequenzharmonisch zueinander, andererseits ist der Einkoppeldrehko C1 jeweils nur auf einer Frequenz optimal eingestellt.

## Der Wirkungsgrad

Wie bei jedem Antennenanpassgerät sollte man sich darüber einige Gedanken machen, die hier vorgestellten Überlegungen gelten natürlich auch für andere Schaltungen (T-Match, symmetrisches L-Netzwerk, Pi-Filter). Auf den höheren Bändern ist der Wirkungsgrad am besten bei Lastwiderständen im mittelohmigen Bereich zwischen 100 und 500 Ohm, auf den frequenzniederen zwischen 10 und 500 Ohm-Frequenzabhängig gilt, dass der Wirkungsgrad beim Z-Match mit steigender Frequenz abnimmt, weil das L/C-Verhältnis wegen der feststehenden Induktivität ungünstiger wird. Eine ausführliche Diskussion dazu findet sich in [3].



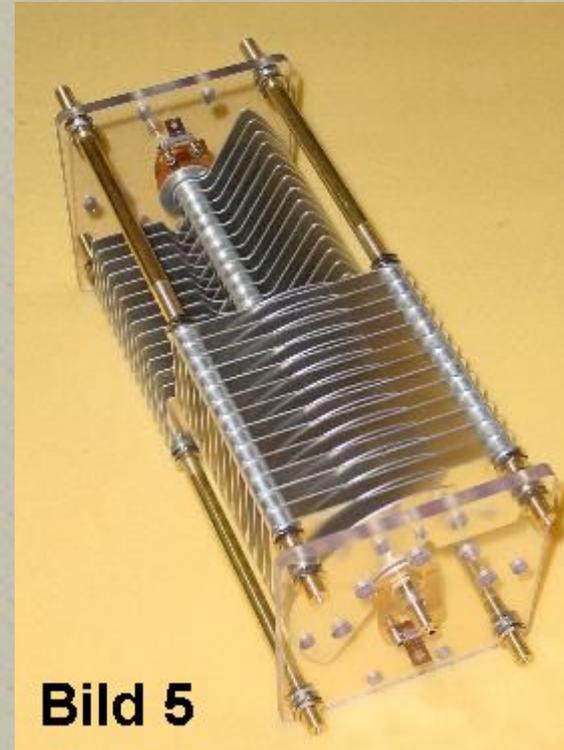
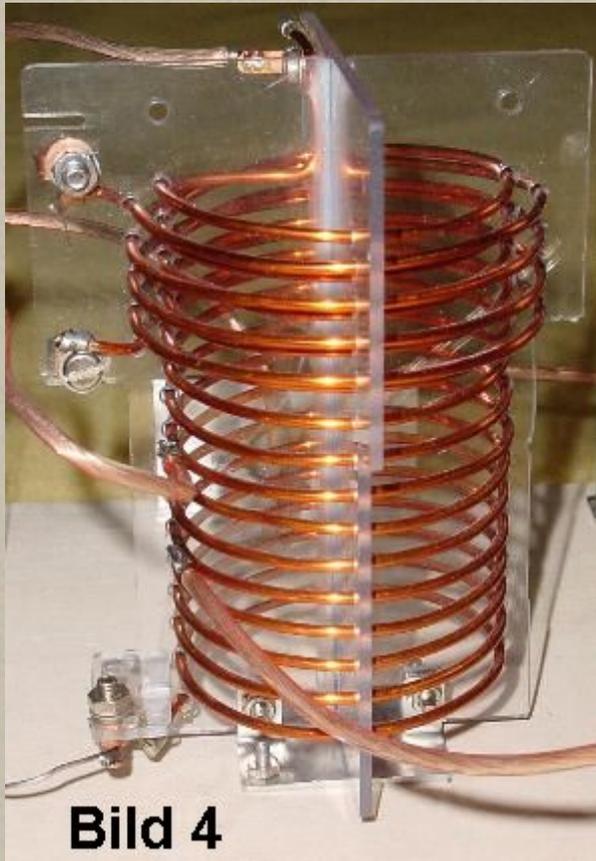
Sinnvoll ist in jedem Fall ein Ausmessen der Antennenanlage (Bild 3) aus Dipol und Speiseleitung mit einem Antennen-Analyzer. Wie bei allen Antennenanpassgeräten ist nicht jede Kombination aus reellem Fußpunktwidestand  $R_x$  mit beliebigem Bildanteil ( $+/-j$ ) an den Punkten ZZ abstimmbare, bzw. führen manche Kombinationen zu einem ungünstigem Wirkungsgrad.

## Mechanische Realisierung

Wichtig ist eine mechanisch stabile Induktivität, vor allem muss die Auskoppelspule L2 eine feste Lage am kalten Ende von L1 haben. Die von mir eingesetzte Spule mit der Linkauskopplung (Bild 4) wurde wie die Drehkos von der Fa. HAM-TEC gefertigt und besitzt ein Grundgerüst aus Polymethacrylat (Plexiglas). Dabei werden für L1 14 Windungen 2-mm-CuL-Draht auf einen Steg-Spulenkörper gewickelt, die Auskoppel-Induktivität hat 4 Windungen am kalten Ende von L1. Aus Tabelle 1 kann man die notwendigen Daten entnehmen.

Die Drehkondensatoren C2a und C2b befinden sich auf einer gemeinsamen Achse (Split-Stator-Prinzip) und sind für eine Spannungsfestigkeit von 4 KV ausgelegt (Bild 5). Abstimm-drehko C1 hat 350 pF bei einer Spannungsfestigkeit von 3 KV. Auch diese Bauelemente werden von der gleichen Firma in hervorragender Qualität gefertigt. Alle Teile sind über den Leserservice des "Funkamateure" erhältlich.

In Bild 6 sieht man einen Probeaufbau auf einem Holzbrett, der auf allen Bändern von 10-80 m das Anpassen meines symmetrischen Dipols über eine Wireman-Leitung ermöglicht. Dabei ist es auf keinem Band notwendig, zur Veränderung der Lastimpedanzen eine zuschaltbare Verlängerung der Zweidrahtleitung vorzusehen, wie sie für andere Anpassgeräte notwendig war.



### Tips und Tricks zu feedergespeisten Antennensystemen

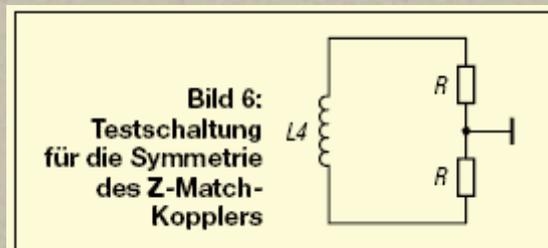
Dazu habe ich schon verschiedene grundsätzliche Überlegungen vorgestellt [u.a. 4, 5], die hier noch einmal kurz wiederholt und durch zusätzliche Einzelheiten ergänzt werden sollen. Alle Grundlagen gelten natürlich nicht nur für das Z-Match, sondern für alle Arten von Kopplern, die den Anschluss von Zweidrahtleitungen ermöglichen, weshalb die Ausführungen auch für diejenigen Amateure interessant sein können, die schon über ein entsprechendes System verfügen.

Waren früher Zweidrahtleitungen ("Feeder") praktisch Standard für Amateurfunkantennen, so ist seit einigen Jahrzehnten Koaxialspeisung mit 50-Ohm-Systemen der Normalfall. Die Kenntnisse zum Speisen und Anpassen symmetrischer Antennen sind demzufolge weitgehend verlorengegangen. Nimmt man heute für Koaxialleitungen ein SWR-Instrument zum Einstellen bester Anpassung, bzw. geringster Welligkeit

auf dem Speisekabel, so ist das für Paralleldrahtleitungen etwas komplizierter. Sinnvollerweise misst man die Ströme in beiden Leitungen und stimmt auf maximalen Antennenstrom ab. Dies geschah früher mit Hitzdrahtinstrumenten, Glühlampenindikatoren oder ähnlichen Hilfsmitteln.

Einen Überblick über die Antennenströme zu haben, ist in jeden Fall empfehlenswert und nützlich, weshalb wir darauf etwas ausführlicher eingehen wollen. Als Durchführungen für die Hauswand verwende ich die von der Abschirmung befreiten Innenleiter von RG-213-Koaxialkabeln. Für diese Leitungsstücke habe ich mir einen Ringkern-Stromwandler gebaut, der an anderer Stelle beschrieben werden soll. Zwei Eisenpulver-Ringkerne werden mit 10-30 Windungen 0,3-mm-CuL-Draht gleichmäßig bewickelt und über die Leiterstücke geschoben. Zwei Schottky-Dioden richten die ausgekoppelte HF-Spannung gleich und werden über zwei empfindliche Messinstrumente (50-200  $\mu\text{A}$ ) angezeigt. Ein Tandempoti  $2 \times 10 \text{ KOhm}$  dient der Empfindlichkeitseinstellung. Die Schaltung kann bei normalen Sendeleistungen immer eingeschleift bleiben, für QRP, wo jedes abgestrahlte mW zählt, sollte man die Messanordnung abschaltbar machen.

So kann man die Antennenströme im laufenden Betrieb im Auge behalten, die Abstimmung damit vornehmen oder auch durch Vergleich verschiedener Antennenanpassgeräte deren Wirkungsgrad abschätzen. Mögliche Veränderungen an der Antennenanlage fallen sofort auf und Unsymmetrien lassen sich erkennen.



Unter Umständen ist aber auch die Auskopplung im Anpassgerät selbst schon nicht symmetrisch, auch das kann man leicht ermitteln und ist recht aufschlussreich. Dazu nutzen wir eine Widerstandsbrücke als Last (Bild 6).

Normalerweise ist die ausgekoppelte HF auf beiden Zweigen symmetrisch gegen Erde. Die beiden Widerstände R sollten induktionsarme Metalloxid-Schicht-Widerstände sein und können Werte zwischen  $2 \times 10 \text{ Ohm}$  und  $2 \times 1 \text{ KOhm}$  haben.

Gleichzeitig kann man damit auch den Anpassbereich (allerdings nur für reelle Lastwiderstände) der Matchbox testen. Mit einem HF-Tastkopf werden die Spannungen an beiden Widerständen gemessen, die im Idealfall gleich sein sollten. Dazu reichen 1-2 Watt Sendeleistung aus. Wer über einen Antennenanalyzer verfügt (Stabo RF-1, Vectronics, MFJ) kann die dort angegebene HF-Spannung (eingespeist am 50-Ohm-Eingang des Kopplers) direkt mit einem HF-Tastkopf und einem empfindlichen FET- oder Röhrenvoltmeter detektieren.

### Mögliche Unsymmetrien auf der Speiseleitung und Abhilfen dagegen

Diese treten weit seltener auf, als wohl allgemein angenommen, trotzdem können sie Probleme bereiten. Bleiben die Differenzen der Ströme in beiden Zweigen unter etwa 2 dB, so kann man sich zusätzliche Maßnahmen zur Balancierung sparen. Werden Sie größer, kann ein höchst unerfreulicher Effekt auftreten, der bei allen symmetrischen Leitungen, unabhängig von der Art des Antennenkopplers, beobachtet werden kann. Wenn dieser Fall zutrifft, so wirkt ein Teil des Antennensystems als unsymmetrischer Strahler gegen Erde, wobei ein erheblicher Teil der HF als Verlust im mehr oder weniger schlechten Erdnetz verbraten wird. Erkennbar wird das einmal daran, dass kein Abstimmen auf ein SWR von 1,0 herunter möglich ist, zum anderen an vagabundierender HF im Shack mit allen bekannten, negativen Begleiterscheinungen.

Abhilfe schafft eine Längsinduktivität von ca.  $1,2 \mu\text{H}$  in einem Zweig der Speiseleitung, diese kann mit einem Schalter eingeschleift werden oder steckbar gemacht werden, wobei man ermitteln muss, in welchem Zweig dies den gewünschten Erfolg bringt. Je nach Lastbedingung kann auch ein Drehko von 50-100 pF anstelle der Induktivität notwendig werden.

Wichtig ist, dass beide Schenkel unseres Dipols möglichst gleich aufgehängt sind, d.h. beide Enden sollten vor allem bei "Inverted-Vee"-Anordnung gleichen Abstand zur Erde aufweisen. Ungünstig ist es auch, wenn zur Platzersparnis ein Bein der Antenne zusätzlich abgewinkelt oder geknickt wird, wie man es bei koaxialgespeisten Dipolen meist ohne Probleme machen kann.

### Abstimmen des Z-Match-Tuners

Sinnvoll sind Feintriebe mit Skalen, so dass die einmal gefundenen Einstellungen reproduzierbar sind. Die Abstimpunkte sind sehr scharf, ohne Feintrieb wird das eine knifflige Angelegenheit. Grundsätzlich sind die Drehkos auf kleinere Kapazitäten bei den höheren Bändern einzustellen und sind auf den "Low-Bands" weiter eingedreht. Findet man zwei Resonanzen, das ist besonders bei 10 MHz möglich, seltener auch bei 20 m, so ist die Stellung mit der größeren Kapazität (unterer Spulenzweig mit C2a aktiv) zu bevorzugen, weil mit einem besseren L/C-Verhältnis die Verluste niedriger sind.

Die beiden Drehkos sind in mehreren Abstimmgängen auf SWR-Minimum auf der Einkoppelseite zu ziehen, wobei das Suchen der erstmaligen Einstellungen je Band durchaus einige Zeit in Anspruch nehmen kann. Immerhin war es dem Autor möglich, auf den Bändern 40 m und 80 m mit dem Probeaufbau des Z-Match-Tuners ohne Skalen so schnell abzustimmen, dass der DA0HQ-Sprintwettbewerb Klasse 1 (High-Power) im Jahr 2004 um 12.13 UTC nach noch nicht einmal einer Viertelstunde mit den 12 QSOs abgeschlossen war. Dabei ist die Resonanz so scharf, dass bei QSY vom SSB- in das CW-Segment der jeweiligen Bänder unbedingt nachgestimmt werden muss.

Um in jedem Fall noch einen Einsatz bis in das 10-m-Band herunter zu ermöglichen, sollte man als Kompromiss eine Kapazität von 2x230 pF für C2 vorsehen, was möglicherweise für sehr kurze Dipoläste X (Bild 3) einer Antenne auf 80 m nicht ausreicht. Dann müssen zusätzliche Festkondensatoren parallelgeschaltet werden, wie es für die Erweiterung auf 160 m beschrieben, zwingend nötig ist.

### Abänderungen und Erweiterungen für Betrieb auf 160m

Mit der gleichen Induktivität ist es möglich, nur mit Erhöhen der Kapazitätswerte von C1 und C2b den Abstimmbereich auf das 160-m-Band zu erweitern. Da man in der Regel wohl immer dasselbe Antennensystem benutzt, reicht es aus, einmal die notwendigen Kapazitätswerte zu bestimmen und entsprechende spannungsfeste Kondensatoren mit einem Keramikschafter zuzuschalten. Umständlicher, aber ebenfalls möglich ist eine steckbare Anordnung mit den Fest-C's. Die Kapazitätswerte liegen jeweils zwischen 300 und 1000-pF und sollten so gewählt werden, dass die Drehkos halb eingedreht etwa in der Mitte der Abstimmbereiche liegen.

Da die verwendeten Dipole für dieses Band meist deutlich kürzer als ein echter Halbwellendipol sind, wird praktisch immer ein sehr niederohmiger Speisepunkt am Antennenkoppler auftreten. Im Bereich von 10-50-Ohm fühlt sich der Koppler "am wohlsten", d.h. ein Abstimmen klappt in der Regel einwandfrei und auch der Wirkungsgrad ist hoch. Liegen wir im Impedanzpunkt noch darunter, so kann es nützlich sein, am Speisepunkt in jeden Dipolweig eine Verlängerungsspule einzufügen, deren Wert experimentell bestimmt werden sollte. Bei einem Versuchsaufbau einer Inverted-Vee mit 2x16 m Länge hat sich ein Wert von jeweils 70 uH als sinnvoll erwiesen.

Mit dieser Lösung handelt man sich aber ein neues Problem für die frequenzhöheren Bänder ein: Mit der Eigenkapazität der Spule können sich Sperrkreiseffekte einstellen, weshalb u.U. auf einem Band nichts mehr geht. Abhilfe schaffen zwei Relais parallel zu den Induktivitäten, die bei 160-m-Betrieb geöffnet und bei den anderen Bändern geschlossen sind. Da an der Spule hohe Spannungen anliegen, dürfen die Kontakte nicht zu eng sein. Eine solche Anordnung ist allerdings nur dann möglich, wenn am Speisepunkt entsprechende mechanische Befestigungspunkte zur Verfügung stehen (z.B. Haltemast). Bei freier Aufhängung und Mittenspeisung geht das natürlich nicht.

Wer die vorgeschlagenen Maßnahmen für aufwändig hält, sollte bedenken, dass es immer erheblicher Klimmzüge bedarf, um mit einem akzeptablen Wirkungsgrad Antennen für 1,8 MHz auf kleinen Grundstücken mit räumlich reduzierten Abmessungen zum Arbeiten zu

bringen.

Eine weitere sinnvolle Maßnahme kann es sein, die beiden Kapazitäten C2a und C2b nicht gleichgroß zu machen. Dabei belässt man C2a bei 230 pF, damit die Anfangskapazität für die höheren Bänder möglichst niedrig bleibt und erhöht C2b auf 350pF, der bei entsprechender Spannungsfestigkeit dann aber recht groß wird.

Benutzt man das zweidrahtgespeiste Antennensystem nur für die "Low-Bands", so kann man sich das Drehkosegment C2a und den zugehörigen Spulenanzapf sparen, was den Aufbau spürbar vereinfacht, bzw. für C2b gleich einen Drehko höherer Kapazität einsetzen.

Wer sich weitergehend mit der Problematik und dem Wirkungsgrad des Z-Match beschäftigen will, sei auf die Webseite von Lloyd, VK5BR, hingewiesen [6], die eine sehr informative Zusammenfassung seiner diversen Artikel in englischer Sprache über dieses spezielle Anpassungskonzept enthält.

### Abschließende Bemerkungen

Die Z-Match-Schaltung erweist sich als ausgesprochen dankbares Versuchsobjekt, vor allem weil keramische Leistungsschalter für veränderbare Induktivitäten praktisch nicht mehr erhältlich sind und man hierbei ohne Spulenumschaltung auskommt. Zudem sind die nötigen Bauelemente entsprechender Leistung preiswerter als die für einen echten symmetrischen Koppler für ein Doppel-L-Glied mit zwei gekoppelten Rollspulen.

Die vorliegenden Versuche (Bild 7) zeigen, dass es problemlos möglich ist, auch für QRO-Leistungen einen Z-Match-Tuner aufzubauen. Die Drehkondensatoren mit entsprechendem Plattenabstand für die auftretenden hohen HF-Spannungen und die Induktivität auf einem Polymethacrylat-Körper sind über den FA-Leserservice zu beziehen.

**Anmerkung 12/2009: Die Drehkos sind über die angegebenen Quellen nicht mehr lieferbar! Ein Versuch lohnt sich bei Fa. Schubert!**

### Tabelle 1:

<b>Bauteile für den 1KW-Z-Match-Tuner 10-80m:</b>
C1: 20-350pF, 2.5KV
C2: 2x 20-230pF, 4KV, Split-Stator
L1: 14 Windungen 2mm-CuL, Innendurchmesser 54mm, Länge 90mm Anzapfpunkte bei 10 und 7 Windungen
L2: 4 Windungen 2mm-CuL, Innendurchmesser 65mm, Länge 25mm über das kalte Ende von L1 gewickelt

## Literatur- und Quellenangaben:

[1] Johnson, R.W. (W6MUR): A new multiband tank circuit, QST 7/1954, USA

[2] King, A. (W1CJL): The Z-Match, QST 5/1955, USA

[3] Butler, L. (VK5BR): Efficiency of the Z-Match, Amateur-Radio, 9/1995, Australien

[4] Steyer, M. (DK7ZB): Zweidrahtleitungen direkt am Transceiver betreiben?, Funkamateurl 46 (1997), Heft 3

[5] Steyer, M. (DK7ZB): Leckerbissen für Zweidraht-Fans: Antennentuner AT1500BAL, Funkamateurl 52 (2003), Heft 5

[6] Homepage VK5BR: <http://www.4.tpgi.com.au/ldbutler>