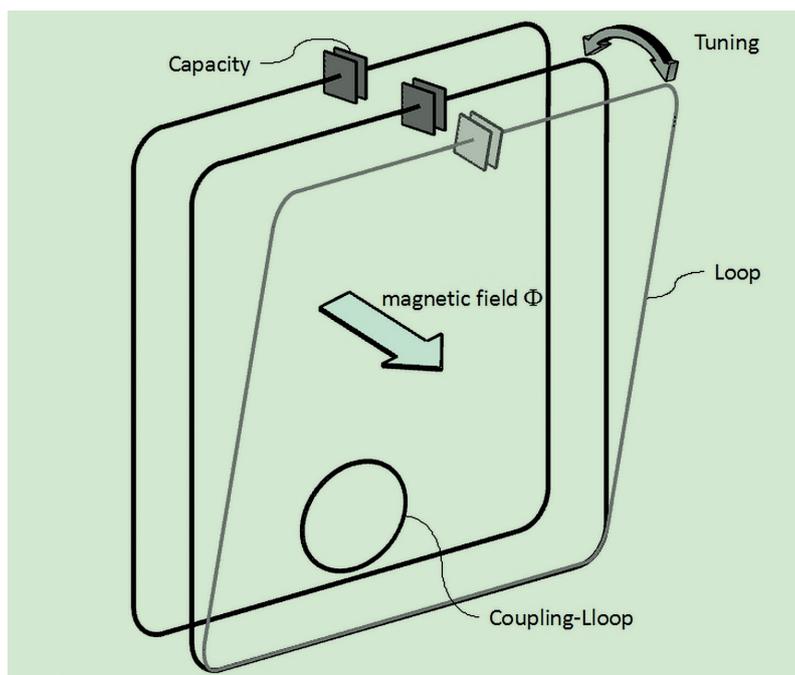


## Teil 1: Grundkonzept und Theorie

# Magnetic-Loop-Antenne nach DL5MCC

Klaus Finkenzeller, DL5MCC

Dieser zweiteilige Beitrag beschreibt ein neues Konzept für magnetische Antennen, das eine Frequenzabstimmung ohne Drehkondensator erlaubt.



Ein Problem beim Bau magnetischer Antennen ist die Beschaffung eines spannungsfesten Drehkondensators mit passendem Kapazitätsbereich. Daher wurde eine neue Bauart von magnetischen Loops entwickelt, die gänzlich ohne Drehkondensator auskommt. Der Frequenzabgleich innerhalb eines Bandes erfolgt durch Verändern der magnetischen Kopplung zwischen zwei galvanisch nicht verbundenen Loops. Der Bandwechsel wird durch das Umschalten von Festkondensatoren bewirkt. Vorgestellt wird das Grundkonzept der Antenne und es werden erste Simulations- und Praxisergebnisse dargestellt. Auch wenn der Artikel keine Bauanleitung ist, gibt er doch einfache Hinweise zum Selbstbau und Abgleich der Antenne.

## Grundkonzept der Antenne

Antennen mit kompakter Bauform erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Kein Wunder bei der stetig verdichteten Bau-

weise in den Städten, der zunehmenden Technikfeindlichkeit und „Strahlungsangst“, einer anonymen Nachbarschaft und in Neubausiedlungen sogar generellen Antennenverboten. Dies alles hat dazu geführt, dass der Antennenbau für Amateure oft das dominierende Hindernis zur Inbetriebnahme einer eigenen Funkstation ist.

Die magnetischen Loop-Antennen (MLA) weisen eine außerordentlich kompakte Bauform auf und sind daher eine gute Alternative zu Drahtantennen. Eine MLA besteht aus einer meist kreisförmigen oder quadratischen Leiterschleife (Loop) als Induktivität und einem Kondensator. Loop und Kondensator bilden einen Schwingkreis.

Der Umfang der Loop liegt in der Praxis meist zwischen einem Drittel und einem Zehntel der Wellenlänge bei einem möglichst großen Flächeninhalt.

MLAs erzeugen im Nahbereich ein magnetisches Feld, welches dann im Übergang zum Fernfeld in eine elektro-

**Zur Person**



**Klaus Finkenzeller, DL5MCC**  
 Jahrgang 1962, Amateurfunkgenehmigung seit 1980  
 Studium der Elektrotechnik/Nachrichtentechnik,  
 beruflich im Bereich RFID/NFC tätig  
 Autor: RFID-Handbuch sowie zahlreiche Fachbeiträge und Patente zum Thema RFID/NFC  
 Besondere Interessen: Digitale Betriebsarten, DMR, SOTA-Aktivierung  
 Erbauer des „Muxplexer“-Transponders DBØUV, [www.qsl.net/dl5mcc/db0uv.html](http://www.qsl.net/dl5mcc/db0uv.html)  
 Entwicklung der Software CPSProgrammer für DMR-Funkegeräte, <http://dl5mcc.de/cpsprogrammer>  
 Im Jahr 2000 QRV aus Peking als DL5MCC/BY1SK während eines längeren beruflichen Aufenthalts in China, [www.qsl.net/dl5mcc/by1sk.html](http://www.qsl.net/dl5mcc/by1sk.html)  
 Ab 2019 Berufung als Beisitzer (Prüfer) in Amateurfunkprüfungen durch die Bundesnetzagentur  
 Weitere Hobbys: Segeln, Berge, Asien

Anschrift:  
 Ahornstr. 19  
 85774 Unterföhring  
[klaus@dl5mcc.de](mailto:klaus@dl5mcc.de)

magnetische Welle übergeht. Ein hoher Wirkungsgrad der Antenne setzt eine hohe Schwingkreisgüte voraus.

Eine MLA wird optimal in Resonanz betrieben, was bei hoher Güte und der daraus resultierenden geringen Bandbreite ein Nachstimmen schon bei geringer Arbeitsfrequenzänderung bedeutet.

In der üblichen Praxis kommen daher Drehkondensatoren zum Einsatz. Die hohe Güte führt nun aber auch zu einer hohen Spannung am Drehkondensator im Sendebetrieb. Bei 100 W Senderleistung können leicht mehrere Kilovolt auftreten. Daher muss neben dem Kapazitätsbereich auf eine ausreichende Spannungsfestigkeit geachtet werden, was einen großen Plattenabstand bedeutet. Leider bedeutet das gemäß der Formel für die Kapazität eines Plattenkondensators

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

eine kleine Kapazität bzw. erzwingt eine große Gesamtfläche A der Platten. Dies führt zu großen und mechanisch aufwändigen Bauformen.

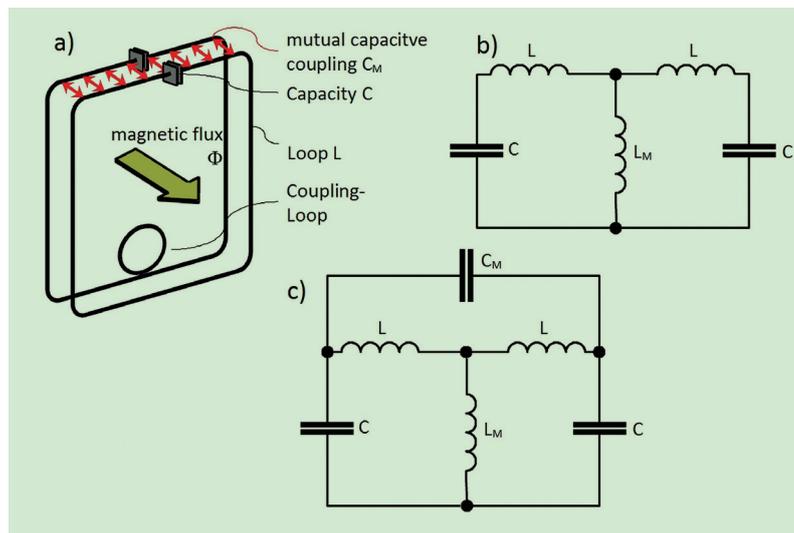
Auch eine Verringerung der Sendeleistung hilft hier nicht wesentlich weiter, da eine Reduktion der Leistung auf z.B. 50 % lediglich eine Reduktion der Spannung auf 71 % bedeutet.

Daher stellt der Drehkondensator wohl das Hauptproblem bei abstimmbaren Sende-MLAs dar. Er ist in der Regel schwer zu beschaffen und teuer. Die hier vorgestellte MLA nach DL5MCC verwendet daher ein gänzlich anderes Konzept zur Frequenzabstimmung und kommt dabei vollkommen ohne Drehkondensator aus. Im **Aufmacherbild** erkennt man das Grundprinzip. Durch den gemeinsamen magnetischen Fluss durch beide Loops entsteht eine magnetische (transformatorische) Kopplung zwischen den beiden Loops mit einem Koppelfaktor  $k$ , der theoretisch zwischen 0 (keine Kopplung) und 1 (totale Kopplung) liegen kann.

Bei den großen Loops mit einem Abstand von wenigen Zentimetern ergeben sich magnetische Koppelfaktoren zwischen etwa 0,75 und annähernd 1. Dies führt dazu, dass die beiden Schwingkreise eine gemeinsame Resonanzfrequenz auch dann ausbilden, wenn die einzelnen Resonanzfrequenzen ungleich sind. Diesen Umstand können wir sehr elegant zu einer Bandumschaltung nutzen.

Die resultierende Resonanzfrequenz ist immer niedriger als die niedrigste Einzel-Resonanzfrequenz und hängt von der Stärke der magnetischen Kopplung ab. Wenn wir also diese verändern, können wir die gemeinsame Resonanzfrequenz verändern. Neben dieser der gemeinsamen niedrigeren Resonanzfrequenz  $f_1$  bildet sich noch eine höhere Resonanzfrequenz  $f_2$  aus. Diese ist in der Simulation und auch in der Impedanzmessung gut sichtbar, für den Funkbetrieb aber leider unbrauchbar, denn bei  $f_2$  fließen die Ströme in beiden Loops im Gegentakt. Daher wird keine Leistung abgestrahlt, der Strahlungswiderstand der Antenne geht hier gegen Null. Um die magnetische Kopplung und damit die Resonanzfrequenz der Antenne einzustellen, reicht es, die mechanische Stellung der Loops zueinander zu verändern. Bei den bisher gebauten Mustern wird eine der Loops einfach gegenüber der anderen gekippt. Eine Änderung des Kippwinkels zwischen  $0^\circ$  und etwa  $15^\circ$  reicht zum Beispiel vollkommen aus, um über das gesamte 20- oder 40-m-Band abzustimmen.

Andere Möglichkeiten wären die seitliche Verschiebung der Loops zueinander



**Bild 1: Ersatzschaltbilder der Antenne**

oder die Veränderung ihres Abstands auf der gemeinsamen Spulenachse.

Aufgrund der Verwendung von wenigstens zwei Loops in gemeinsamer Resonanz sowie des Abgleichs durch eine veränderte magnetische Kopplung wird diese Antenne auch als „Dual Loop Magnetic Coupling Calibrated“ (DLMCC) bezeichnet.

## HF-Einspeisung

Die HF-Einspeisung der Antenne erfolgt genau so, wie man es von der klassischen MLA gewohnt ist, also z.B. über eine Koppel-Loop oder mithilfe einer Gamma-Anpassung. Es reicht dabei aus, in nur eine der Loops einzuspeisen, die zweite wird automatisch mit angeregt. Die Einkopplung kann daher genauso realisiert und dimensioniert werden wie bei klassischen Loop-Antennen. Dazu gibt es zahlreiche Artikel und Internetseiten. Ein geeignetes Tool ist z.B. der Magnetantennenrechner [1] von DGØKW.

## Theoretischer Hintergrund

Um etwas besser zu verstehen, wie die Antenne funktioniert, müssen wir uns zunächst etwas mit der Theorie gekoppelter Schwingkreise befassen.

Der Einfachheit halber betrachten wir zwei MLAs mit gleicher Dimensionierung, also auch gleicher Resonanzfrequenz. Sobald wir die beiden Loops im Nahfeld einander nähern, entsteht eine starke magnetische Kopplung. Dies bedeutet, dass ein Teil des Magnetfelds der angeregten Loop auch die zweite Loop durchdringt und dort eine Spannung induziert. Der dadurch entstehende Strom erzeugt wiederum ein eigenes Magnetfeld, welches auf die erste Loop

zurückwirkt. Auf diese Weise entsteht eine Wechselwirkung zwischen den beiden Antennenschwingkreisen, welche durch die so genannte Gegeninduktivität  $L_M$  (mutual inductance) bzw. den Koppelfaktor  $k$  ausgedrückt wird.

In **Bild 1** ist ein einfaches Ersatzschaltbild der beiden Antennenschwingkreise eingebunden (b). Sie besitzen gleiche Induktivitäten  $L$  und gleiche Kapazitäten  $C$ . Die gemeinsame Resonanzfrequenz  $f_1$  ergibt sich zu:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L + L_M) \cdot C}}$$

Dabei gilt  $L_M = k \times L$ . Für den theoretischen Fall einer 100 %-igen magnetischen Kopplung wäre also  $L_M = L$ , sodass wir als gemeinsame Resonanzfrequenz  $f_1$  einen Wert von

$$f_{1|k=1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L + L) \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

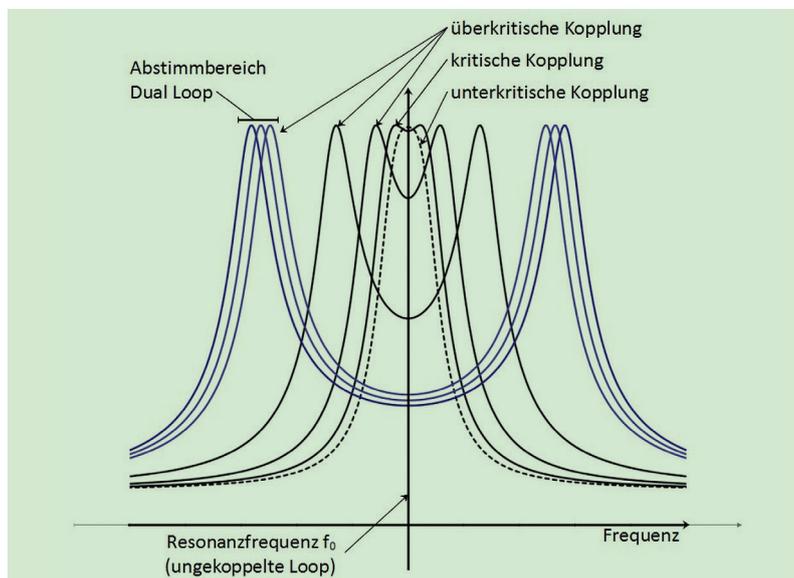
erhalten würden. Die gemeinsame (gekoppelte) Resonanzfrequenz  $f_1$  zweier gleicher Antennenschwingkreise mit der Resonanzfrequenz  $f_0$  (ungekoppelt) kann also bei maximaler magnetischer Kopplung theoretisch als kleinsten Wert  $f_0/\sqrt{2}$  annehmen. Durch Verändern der magnetischen Kopplung zwischen zwei gleichen Antennenschwingkreisen kann die Resonanzfrequenz der Antenne daher theoretisch maximal im Bereich zwischen  $f_0/\sqrt{2}$  und  $f_0$  eingestellt werden.

In der Praxis kommt jedoch ein zweiter Effekt zum Tragen. Zwischen den beiden parallellaufenden Loops besteht zusätzlich eine kapazitive Kopplung  $C_M$  (mutual capacity), wie in Bild 1a angedeutet. Ein Ersatzschaltbild hierzu ist in Bild 1c dargestellt. Die gemeinsame Resonanzfrequenz  $f_1$  berechnet sich daher zu:

**Tabelle**

Band	Frequenz in kHz	C1	C2	dBi (dBd)	U K-Loop
17 m	18 068...18 168	12,8 pF	12,8 pF	1,6 (-0,55)	0,958 m
20 m	14 000...14 350	12,8 + 19,6 pF	12,8 pF	1,05 (-1,1)	0,913 m
30 m	10 100...10 150	12,8 + 19,6 pF	12,8 + 49,5 pF	-0,33 (-2,48)	0,927 m
40 m	7000...7200	12,8 + 19,6 + 107 pF	12,8 + 49,5 pF	-3,7 (-5,85)	1,017 m
60 m	5351,5...5386	12,8 + 19,6 + 107 pF	12,8 + 49,5 + 157 pF	-6,6 (-8,75)	1,14 m

**Tabelle 1: Benötigte Kapazitätswerte zur Bandumschaltung für eine 1 × 1 m große MLA. Als Kondensatoren wurden Koaxialkabel entsprechender Länge verwendet (Erklärung U K-Loop: Es handelt sich um den optimalen Umfang der Koppelloop für diesen Frequenzbereich)**



**Bild 2: Die vorgestellte MLA verhält sich wie ein Zweikreis-Bandfilter mit stark überkritischer Kopplung**

$$f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L + L_M) \cdot (C - C_M)}}$$

Nähern wir die beiden Loops einander an, erhöhen sich  $L_M$  und  $C_M$  gleichermaßen. Wegen des entgegengesetzten Vorzeichens (Subtraktion) wirkt die kapazitive Kopplung der magnetischen Kopplung (Addition) hinsichtlich der Frequenzverschiebung entgegen, wodurch der Einstellbereich für die Resonanzfrequenz in der Praxis immer (deutlich) kleiner als  $1/\sqrt{2}$  sein wird.

Die Größe von  $C_M$  hängt stark vom mechanischen Aufbau der Antenne, zum Beispiel dem Querschnitt der Loops oder dem Abstand derselben ab. Ein größerer Abstand oder eine ungleiche Geometrie der beiden Loops verkleinert den maximalen Koppelfaktor, aber auch die kapazitive Kopplung zwischen den beiden Loops. Generell führt dies zu einem kleineren Einstellbereich der Frequenz und stellt damit eine Art Bandspreizung dar. Das genaue Verhalten sowie die Dimensionierung der Antenne kann am besten per Simulation, z.B. mit 4NEC2, ermittelt werden.

Der Abstimmungsbereich der vorgestellten MLA überstreicht mit fest eingestellten Kapazitäten typischerweise 0,5 bis 2 MHz und kann daher nur in einem Band genutzt werden.

### Einfache Bandumschaltung

Das Verhalten unserer MLA im Frequenzbereich entspricht weitgehend dem Verhalten eines Zweikreis-Bandfilters. Der von Zweikreis-Bandfiltern bekannte Frequenzverlauf bei kritischer Kopplung tritt bei magnetischen Kopplungsgraden im Bereich von  $k = 0,055$  bis  $0,015$  auf, darüber beginnt der Bereich der überkritischen Kopplung mit der Bildung von zwei Höckern [2], den beiden Resonanzfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$ . Um eine kritische Kopplung bei MLAs zu sehen, müssten die beiden Loops jedoch mehrere Meter voneinander entfernt sein. Bei magnetischen Kopplungsgraden von weit über  $0,1$  so wie sie hier verwendet werden, sind die beiden Höcker bereits vollkommen voneinander getrennt. Mit zunehmendem magnetischen Koppelfaktor  $k$  laufen die beiden Resonanzfrequenzen immer weiter auseinander (Bild 2). Für unsere Dual-Loop müssen

wir, wie begründet, die untere Resonanzfrequenz  $f_1$  nutzen. Dabei ist es wegen der starken magnetischen Kopplung unerheblich, ob die beiden Schwingkreise/Loops auf die gleiche Frequenz abgestimmt sind oder sogar um einige MHz auseinander liegen. Die gegenseitige Beeinflussung ist so stark, dass sich immer gemeinsame Resonanzfrequenzen ausbilden.

Durch das Parallelschalten von weiteren Kondensatoren kann die MLA auf Bänder niedrigerer Frequenz umgeschaltet werden, auch mit unterschiedlich großen Kapazitäten. Diese Tatsache kommt uns sehr entgegen, denn auf diese Weise reicht es aus, abwechselnd zu je einer der Loops eine weitere Kapazität zu schalten, um so mehrere Bänder zu erreichen.

Als Beispiel diene uns eine MLA mit einem Außenmaß von  $1 \times 1$  m. In Tabelle 1 sind die benötigten Kapazitätswerte für eine Bandumschaltung durch wechselweises Hinzuschalten von Kondensatoren aufgelistet. C1 ist Loop 1 und C2 Loop 2 zugeordnet. Ermittelt wurden die Werte für einen Rohrdurchmesser von 22 mm. Durch die verwendeten doppelten Rohr-Clips aus dem Baumarkt ergibt sich ein minimaler Abstand von 4,2 cm von Leitermitte zu Leitermitte. Werden Koaxialkabel-Stubs als Kondensatoren eingesetzt, so kann die Seele der einzelnen Kabel bedarfsweise an ein Ende der Loop gelegt werden, um die für ein bestimmtes Band benötigte Kapazität hinzuschalten. Die Abschirmung kann dauerhaft verbunden bleiben und stört nicht weiter.

(wird fortgesetzt)



### Literatur und Bezugsquellen

- [1] Magnet-Loop-Antennen-Rechner, [www.dl0hst.de/magnetlooprechner.htm](http://www.dl0hst.de/magnetlooprechner.htm)
- [2] Dietmar Rudolf: „Die Höcker beim Zweikreis-Bandfilter“, [www.radiomuseum.org/forum/die\\_hoecker\\_beim\\_zweikreis\\_bandfilter2.html](http://www.radiomuseum.org/forum/die_hoecker_beim_zweikreis_bandfilter2.html)
- [3] Patentanmeldung Aktenzeichen DE 10 2018 008 510, „Einstellbare magnetische Antenne“, 2.11.2018
- [4] Übersicht zu 4NEC2, [www.darc.de/der-club/distrikte/g/ortsverbaende/73/simulationen/4nec2/](http://www.darc.de/der-club/distrikte/g/ortsverbaende/73/simulationen/4nec2/)
- [5] Dr. Aaron Scher: „Positive coupling, negative coupling, and all that“, [http://aaronscher.com/Circuit\\_a\\_Day/Impedance\\_matching/positive\\_negative\\_coupling/positive\\_negative\\_coupling.html](http://aaronscher.com/Circuit_a_Day/Impedance_matching/positive_negative_coupling/positive_negative_coupling.html)

## Magnetic-Loop-Antenne nach DL5MCC (2)

# Aufbau und Inbetriebnahme

Klaus Finkenzeller, DL5MCC

**Die in Teil 1 vorgestellte neuartige Magnetic-Loop-Antenne lässt sich sehr einfach mit Materialien aus dem Baumarkt aufbauen. Dieser abschließende Teil beschreibt die Inbetriebnahme und Abgleich.**

Den Autor erreichen Sie unter:  
Klaus Finkenzeller,  
DL5MCC  
Ahornstr. 19  
85774 Unterföhring  
klaus@dl5mcc.de



Die Loops werden aus Kupferrohren aufgebaut, wie sie für die Wasserinstallation Verwendung finden. Gängige Durchmesser sind 15, 18 und 22 mm.

### Aufbaudetails

Mit 90°- oder 45°-Winkelstücken können quadratische oder sechseckige Loops realisiert werden. Die Verbindung zwischen den Kupferrohren und den Winkelstücken lassen sich mit einem Lötbrenner durch Weichlöten dauerhaft elektrisch und mechanisch stabil verbinden. Hierzu wird Fittinglot aus dem Baumarkt oder ersatzweise handelsübliches Elektroniklot verwendet.

**Bild 3** bringt die Maße der Bauteile und identischen einzelnen Loops gemäß Tabelle 1. Um die benötigten spannungsfesten Kondensatoren kostengünstig mit beliebigen Kapazitätswerten zu realisieren, verwenden wir gängige Koaxialkabel (**Bild 4**). Etwa RG-58 oder RG-213 weisen 101 pF/m auf.

Die Kabel werden so vorbereitet, dass sie sich an einem Ende mit Seele und Abschirmung mit Ösen an der Loop befestigen lassen. Das andere Ende bleibt natürlich offen. Der Innenleiter an diesem Ende sollte aber, um im Betrieb Überschlüge zu vermeiden, mit einem Stück Schrumpfschlauch gegen den Schirm isoliert werden.

Beim Aufbau wird an einer Seite der Loops ein Spalt von etwa 1 cm gelassen, an dem wir die Kondensatoren z.B. per Schraubverbindung befestigen können. Seele und Abschirmung der Koaxialkabel-Kondensatoren werden gemäß **Bild 5** kontaktiert.

Sofern der Innendurchmesser der Kupferrohre groß genug ist, können die Koaxialkabel in die Rohre hineingesteckt werden, sodass sie gut geschützt sind und nicht stören. Andernfalls werden die Koaxialkabel außen an den Rohren z.B.

mit Kabelbindern befestigt und parallel zu den Rohren geführt. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass sie auf der Seite der Loop liegen, auf der die Abschirmung angeschlossen wurde, da es sonst zu einer unerwünschten parasitären Kapazität zwischen dem Koaxialkabel und der Loop kommt.

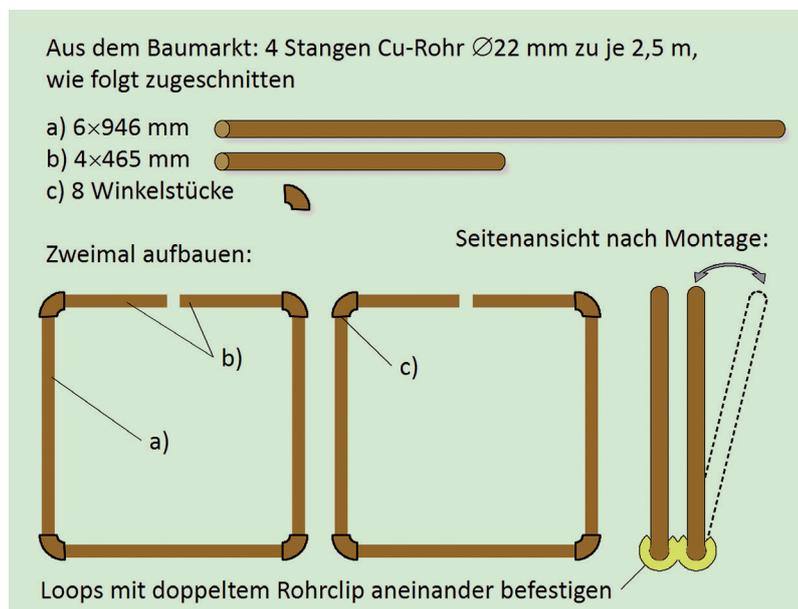
Es empfiehlt sich, eine Halterung zu konstruieren, mit der die beiden Loops in einem definierten Abstand voneinander gehalten werden. Zur Befestigung der Antennen eignen sich einfache oder doppelte Rohr-Clips.

Bei dem im **Aufmacherfoto** gezeigten Aufbau dienen die Clips auch als Drehpunkt für die zweite Loop, um diese von der ersten Loop wegkippen zu können.

### Inbetriebnahme und Abgleich

Bei der ersten Inbetriebnahme der Antenne müssen die Koaxialkabel-Kondensatoren auf die passende Kapazität abgeglichen, d.h. auf die richtige Länge gekürzt werden. Man wähle sie also nicht zu kurz.

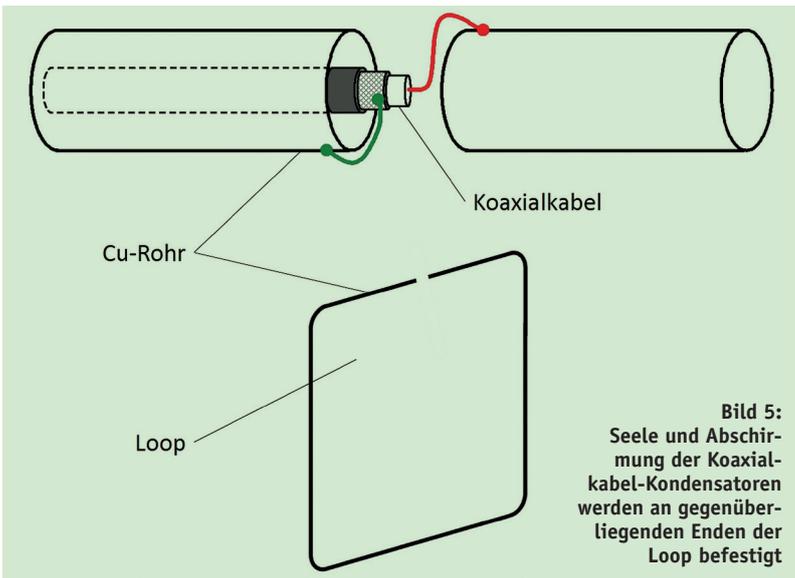
Hierzu wird die MLA auf die größtmögliche magnetische Kopplung eingestellt. Die Antenne muss also vollständig „zugeklappt“ sein. Es empfiehlt sich, die Koaxialkabel mit Kabelbindern entlang der Loop zu befestigen, sodass diese nicht unkontrolliert in der Mitte der Loop hängen. Den Abgleich beginnen wir auf der niedrigsten Frequenz des



**Bild 3:** Maße der Bauteile und Einzel-Loops aus Tabelle 1 (s. Teil 1)



**Bild 4:** Als spannungsfeste Kondensatoren werden Koaxialkabelstücke eingesetzt



**Bild 5:** Seele und Abschirmung der Koaxialkabel-Kondensatoren werden an gegenüberliegenden Enden der Loop befestigt

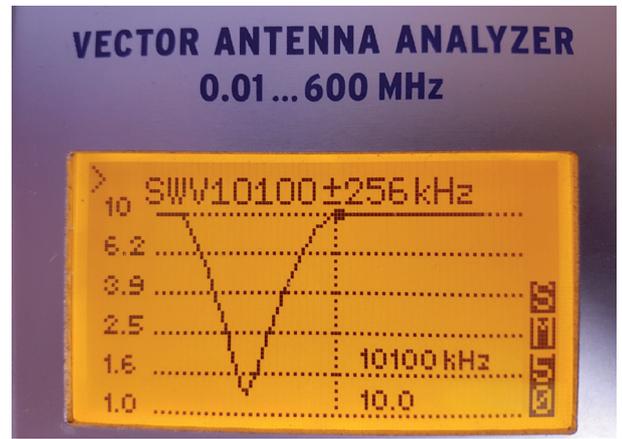
höchsten Bandes, gemäß Tabelle 1 also bei 18 068 kHz. Beide Loops sind nur mit den 12,8-pF-Kondensatoren ausgestattet. Mit einem Antennen-Analyser oder einem Vector Network Analyzer messen wir nun die Resonanzfrequenz der Antenne. Diese sollte einige 10 bis 100 kHz außerhalb des unteren Bandendes liegen. Das bedeutet zu viel Kapazität, und man kann durch zentimeterweises Kürzen (Abkneifen) des Kabels die Frequenz nach oben korrigieren. Durch Ändern der magnetischen Kopplung, also durch ein Aufklappen der Antenne, können wir während des Abgleichs bereits den möglichen Frequenzbereich mit dem Analyzer prüfen.

**Bild 6** gibt eine Impression von der Messung der Resonanzfrequenz durch Bestimmung der Frequenz für das kleinste SWR.

Ist die Antenne im höchsten Band zu unserer Zufriedenheit abgeglichen, schalten wir nun einer der beiden Loops den für das nächste Band benötigten Kondensator hinzu, hier 19,6 pF, um auf das 20-m-Band zu gelangen. Wir stellen wieder die größtmögliche magnetische

Kopplung ein und versuchen, durch Abkneifen des hinzugefügten Koaxialkabels die Frequenz etwas unterhalb des unteren Bandendes einzustellen. So geht es Schritt für Schritt weiter.

War der Abgleich der Antenne erfolgreich, kann durch Verkleinern der



**Bild 6:** Bestimmung der Resonanzfrequenz über den SWR-Verlauf mit einem Antennen-Analyzer



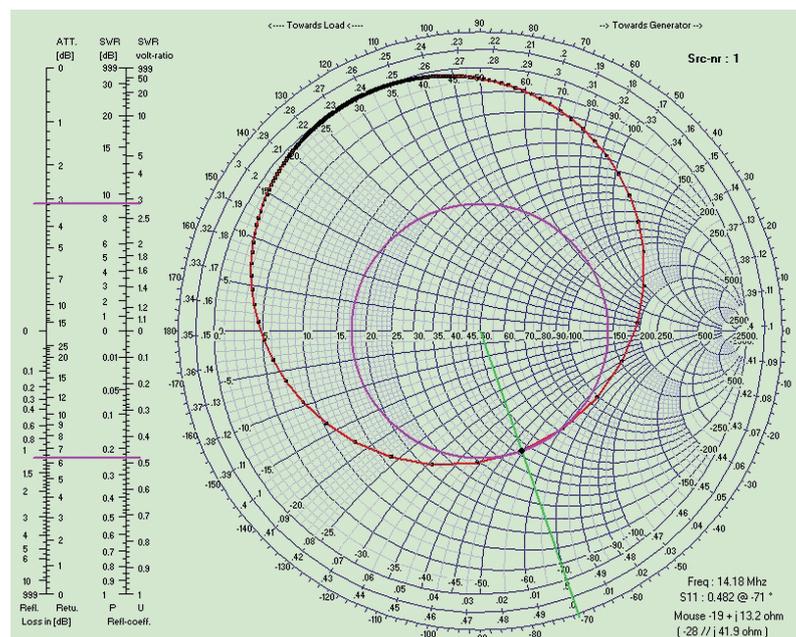
**Bild 7:** Nach Frequenzabgleich können die Koaxialkabel-Kondensatoren innerhalb der Rohre verstaut werden, wenn deren Innendurchmesser dies zulässt

magnetischen Kopplung die Resonanzfrequenz im gesamten Band eingestellt werden.

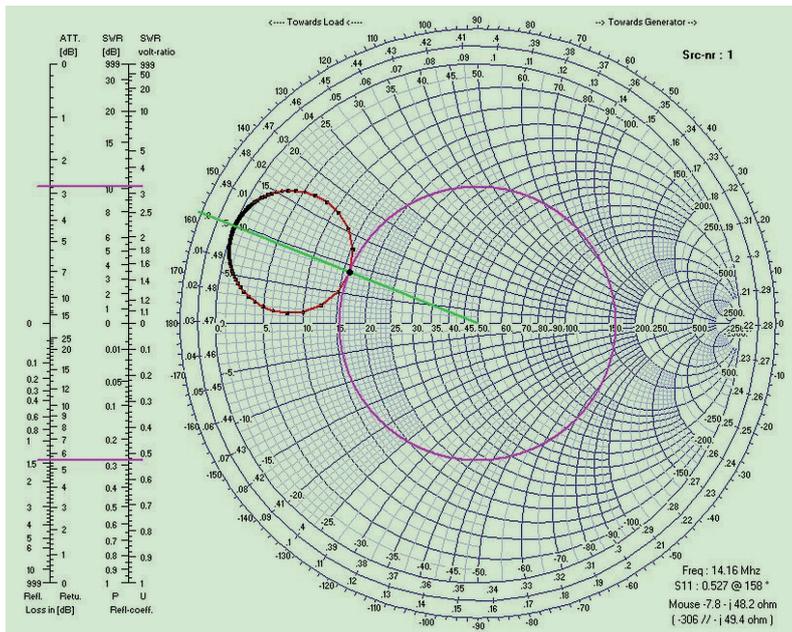
Die „getrimmten“ Koaxialkabel-Kondensatoren lassen sich eventuell wie beschrieben in den Kupferrohren unterbringen (**Bild 7**) oder mit Kabelbindern parallel zu den Rohren befestigen.

## Noch mehr Tipps

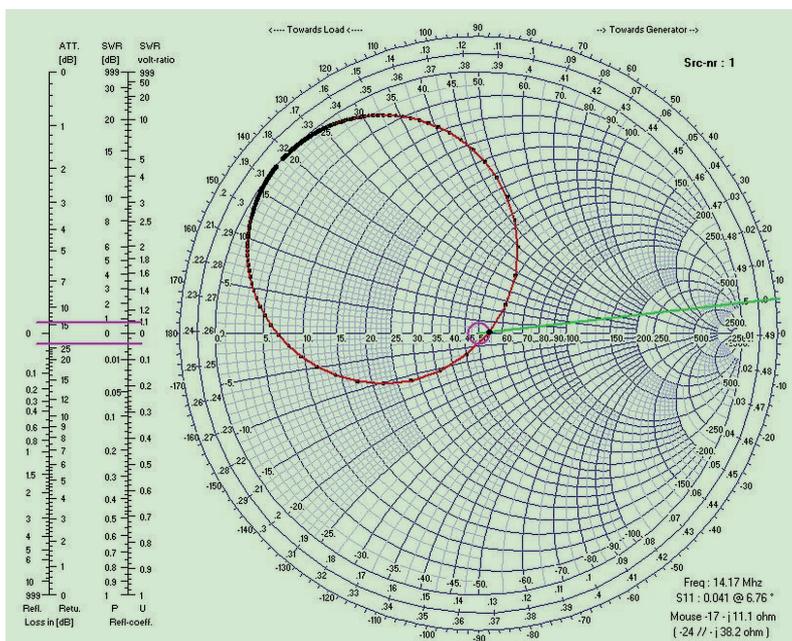
Nachdem die Koaxkabel auf Länge gebracht wurden, ist insbesondere bei RG-58 darauf zu achten, dass evtl. von der Schirmung abstehende Drähtchen der Seele nicht zu nahe kommen, was



**Bild 8:** Ortskurve der Eingangs-impedanz (S11) bei zu großer Koppel-Loop



**Bild 9:** Ortskurve der Eingangsimpedanz (S11) bei zu kleiner Koppel-Loop



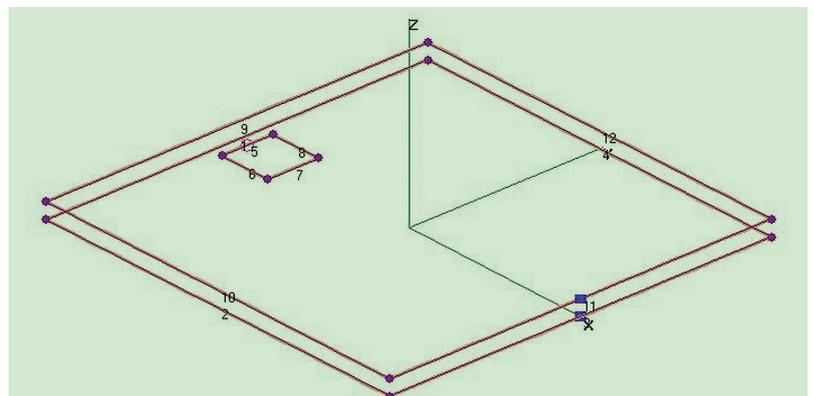
**Bild 10:** Ortskurve der Eingangsimpedanz (S11) bei praktisch korrekter Koppel-Loop

durch ein Abkneifen des Kabels leicht passiert. Dies führt bei Sendeleistungen ab einigen 10 W sonst schnell zu Hochspannungsüberschlägen welche die Kabelenden verschmoren lassen (und bei längerer Aussendung schlimmstenfalls zu einem Kabelbrand führen könnte). Am besten bringt man einen Schrumpfschlauch so zwischen Abschirmung und Seele, dass er nach außen übersteht. So lässt sich die Luftstrecke zwischen Abschirmung und Seele künstlich verlängern und Überschläge verhindern. Der Prototyp der Antenne mit 65 cm Seitenlänge wurde mit einem Griff ausgestattet, um den Einfluss der Handkapazität beim Abgleich auszuschalten. Hierzu wurde ein Kunststoffrohr aus der Elektroinstallation mit einfachen Rohr-Clips an

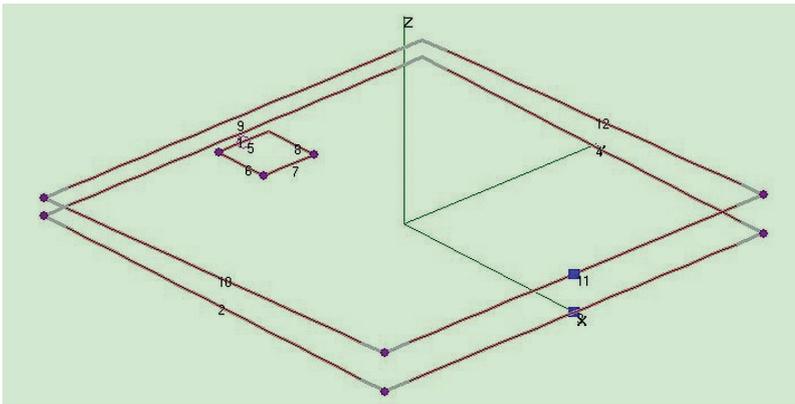
der Loop befestigt. Kann auf der eingestellten Resonanzfrequenz kein brauchbares SWR erreicht werden, ist dies ein Hinweis auf eine falsche Dimensionierung der Koppel-Loop. Durch deren Vergrößern oder Verkleinern lässt sich das

SWR verbessern, allerdings macht es wenig Spaß, mühsam durch reines Ausprobieren zu optimieren. Wenn möglich, sollte man besser die Eingangsimpedanz der Antenne messen und im Smith-Chart darstellen. Für ein SWR von 1 muss die Ortskurve durch den Mittelpunkt des Charts verlaufen. In den **Bildern 8 bis 10** sind Ortskurven dargestellt, wie sie mit 4NEC2 für verschieden große Koppel-Loops ermittelt wurden. Die Ortskurve der Impedanz ist rot dargestellt und bildet hier einen Kreis. Der Durchmesser des violetten Kreises ist ein Maß für die Fehlanpassung und schneidet die Ortskurve an dem Punkt mit bester Anpassung. Im Smith-Chart in Bild 8 wird bestenfalls ein SWR von 3 erreicht (violetter Kreis). Der Mittelpunkt des Charts liegt innerhalb der Ortskurve (rot), ein Indiz dafür, dass der Durchmesser der Koppel-Loop zu groß ist. Im Chart nach Bild 9 kann ebenfalls kein besseres SWR als 3 erreicht werden. Nun befindet sich der Mittelpunkt des Charts außerhalb der Ortskurve, woraus auf eine zu kleine Koppel-Loop geschlossen werden kann. Im Smith-Chart nach Bild 10 verläuft die Ortskurve fast exakt durch den Mittelpunkt des Charts. Hier passt die gewählte Größe der Koppel-Loop fast perfekt, es kann ein SWR von 1,1 erreicht werden. Übrigens: Mit NEC (Numerical Electric Code) bezeichnet man eine ursprünglich für die Navy entwickelte Simulationemethode zur Analyse von Drahtantennen. 4NEC2 ist eine grafische Oberfläche zur leichteren Bedienung hierzu. Die Antenne wird in sehr kurze Stücke (segments) zerlegt. Mit 4NEC2 lassen sich erstaunlich genaue Simulationen vornehmen [4].

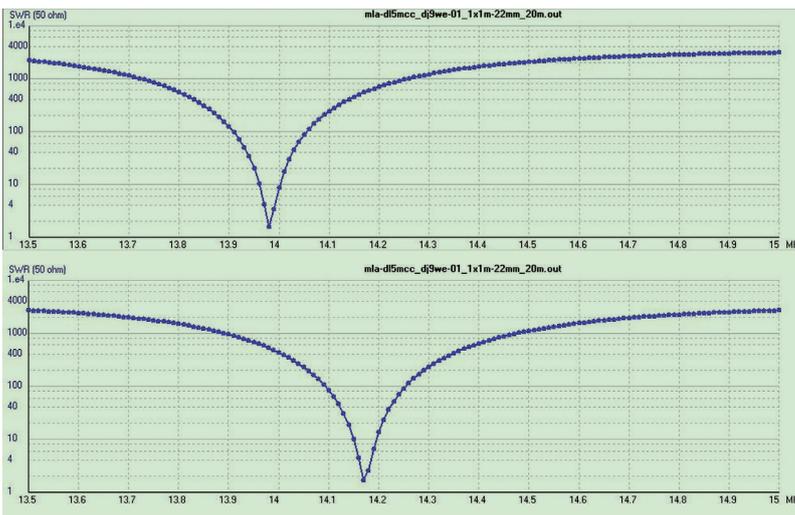
Um die passenden Kapazitätswerte zur Bandumschaltung einfacher zu finden, aber auch, um die Eigenschaften der Antenne besser verstehen zu können, erfolgten zahlreiche Simulationen in 4NEC2. Hierzu wurde die quadratische Loop mit einer Leiterlänge von 1 m definiert



**Bild 11:** Geometrie der simulierten Antenne mit parallelen Leiterschleifen. In der Simulation lässt sich die Veränderung der Resonanzfrequenz durch Ändern der magnetischen Kopplung sehr schön darstellen



**Bild 12: Geometrie der simulierten Antenne bei einem Winkel von etwa 10° zwischen den Leiterschleifen**



**Bild 13: Am SWR-Verlauf bei maximaler Kopplung (oben) und leicht aufgeklappt (unten) ist die Verschiebung der Resonanzfrequenz gut zu erkennen**

und diese in einem gegebenen Abstand dupliziert. Durch das Verschieben der beiden Loops zueinander in den Raumkoordinaten kann der Abstimmvorgang leicht simuliert werden.

**Bild 11** vermittelt einen Eindruck. Es zeigt zunächst die Geometrie der Antenne im geschlossenen Zustand. Die Resonanzfrequenz liegt knapp unterhalb der unteren Grenze des 20-m-Bands.

In **Bild 12** ist die Geometrie der Antenne im leicht geöffneten Zustand zu sehen. Der Abstand der Leitersegmente rechts wurde um 5 cm vergrößert. Die dadurch verschobene Resonanzfrequenz ist in **Bild 13** unten dargestellt. Wie sich in Versuchen gezeigt hat, stimmt die Simulation hier so gut mit der Praxis überein, dass auch zur Entwicklung und Dimensionierung dieses Antennentyps 4NEC2 hervorragend eingesetzt werden kann. Insbesondere die Größe der Kondensatoren lässt sich durch etwas Probieren leicht ermitteln.

Die -3-dB-Bandbreite und der Gewinn der Antenne sind von den ohmschen Verlusten im Verhältnis zum Blindwiderstand der Induktivität der Loop

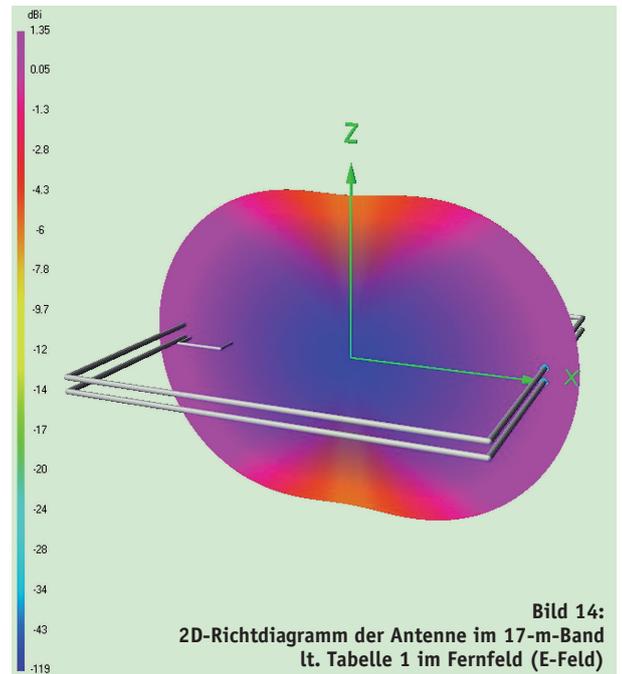
abhängig. Durch die Wahl eines ausreichend dicken Cu-Rohrs kann der Gewinn daher optimiert werden. Loops aus Kupferlackdraht sind daher bestenfalls zum Empfang geeignet.

Ein Vergleich des Antennengewinns zwischen der MLA nach DL5MCC und einer herkömmlichen MLA mit einer Windung und Drehkondensator, aber gleicher Antennenfläche, zeigt in der Simulation nur einen kleinen Unterschied (0,25 dB).

Auch die Richtdiagramme der neuartigen Antenne unterscheiden sich nicht von denen herkömmlicher MLAs. **Bild 14** zeigt den Antennengewinn im Fernfeld (E-Feld) in x- und z-Richtung als 2D-Diagramm.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellte, von DL5MCC entwickelte Antenne ist eine Variante der magnetischen Loop, welche ohne Drehkondensator auskommt und daher besonders gut für den Selbstbau geeignet ist. Tools zur einfachen Berechnung der Antenne fehlen derzeit noch, mittels



**Bild 14: 2D-Richtdiagramm der Antenne im 17-m-Band lt. Tabelle 1 im Fernfeld (E-Feld)**



**Bild 15: Dokumentation von Betriebsversuchen mit der 65-cm-MLA in FT8 mit nur 4 W Sendeleistung. Einmal im 40-, einmal im 20-m-Band**

4NEC2 lassen sich die benötigten Kondensatoren jedoch schrittweise ermitteln. Eine detaillierte Bauanleitung ist in Arbeit.

Da die Antenne auch bei ungleicher Dimensionierung der Kondensatoren eine nutzbare gemeinsame Resonanzfrequenz ausbildet, ist eine Bandschaltung leicht möglich. Dazu reicht es aus, abwechselnd an je einer der beiden Antennen einen Kondensator dazuschalten (s. Tabelle 1). Der nur 65 cm große Prototyp wurde im 40-, 30- und 20-m-Band ausgiebig bei Nutzung der Betriebsart FT8 getestet (**Bild 15**). Mit nur 4 W Sendeleistung war es problemlos möglich, Verbindungen innerhalb von ganz Europa zu tätigen. **CQDL**