Schleife aus 21 m Draht funktioniert auf vier Bändern

Dr.-Ing. WERNER HEGEWALD – DL2RD

Eine in [1] vorgestellte Loopantenne nach T95C, die ohne Antennentuner auf 40, 30, 20 und 15 m arbeitet, wird nachfolgend detailliert untersucht, wobei ein Schwergewicht auf den Konsequenzen der kompromissbehafteten Anpassung liegt. Ferner kommt noch eine Variante für 80 und 40 m zur Sprache.

In einer ukrainischen Amateurfunkzeitschrift [1] fand ich eine auf [2] zurückgehende Kurzvorstellung einer dreieckigen Loopantenne aus Draht, die auf den vier Bändern 15, 20, 30 und 40 m arbeiten soll. Sie benötigt nur einen hohen Aufhängepunkt in 8 bis 9 m Höhe, was sie auch für OMs, die keinen 17 m hohen Gittermast ihr Eigen nennen, interessant macht. Für Portabelbetrieb bietet es sich an, einen „Spieth-Mast“ oder einen hohen Baum zur Aufhängung für die obere Spitze des Dreiecks heranzuziehen.

Befassen wir uns anhand von Bild 1 zunächst mit dem Funktionsprinzip: Ausgangspunkt ist eine dreieckförmige Schleife mit Einspeisung an der Spitze, woraus horizontale Polarisation resultiert. Ihr Umfang wird so bemessen, dass sich 1-λ-Resonanz im 14-MHz-Band ergibt. Nach [3] müsste die Gesamtlänge

$$l/\mathrm{m} = \frac{305}{f/\mathrm{MHz}} \qquad (1)$$

betragen, für Bandmitte wären dies mit f = 14,175 MHz also 21,5 m.

Für das 10,1-MHz-Band ist die Schleife zu kurz; Auftrennung in der Mitte des unteren Schenkels und Zwischenschaltung einer geeigneten Verlängerungsspule (grün eingezeichnet) schafft da Abhilfe.

Einmal unten aufgetrennt, bildet die Dreieckschleife nun zwei abgeknickte Schenkel mit etwa 10,75 m Länge. Daraus erkennen wir unschwer eine abgeknickte Inverted-Vee-Antenne. Diese soll neben $\lambda/2$-Resonanz auf 7 MHz gleichzeitig 3 $\lambda/2$-Resonanz auf 21 MHz aufweisen.

An der aufgetrennten Stelle ist zweckmäßigerweise ein Schaltkasten anzubringen, der über manuell zu betätigende Umschalter oder Relais den Bandwechsel ermöglicht.

Simulation über realem Grund

So weit die Idee. Das Drahtgebilde ist recht schnell in EZNEC eingetippt, wobei die Rechnung mit der Version EZNEC+ V. 4.0.7 und unter Zugrundelegung von realem Grund mit σ = 0,005 S/m und ε_r = 13 erfolgt. Es zeigt sich, dass die Gesamtlänge auf etwa 22,5 m wachsen muss.

Dann aber bekommen wir eine Delta-Loop mit einem flachen Welligkeitsverlauf innerhalb des Bandes und der zu erwartenden Speisepunktimpedanz von ungefähr 100 Ω.

Nur auf 40 m sieht das nicht mehr so glänzend aus: Auch wenn man in der Mitte ein 20 cm langes Stück „herausschneidet“, was den Verhältnissen im Umschaltkasten nahe kommt und für eine vernünftige Isolation zwischen den nun hochohmigen Drahtenden sorgt, liegt die Resonanz gut 100 kHz unterhalb von 7 MHz.

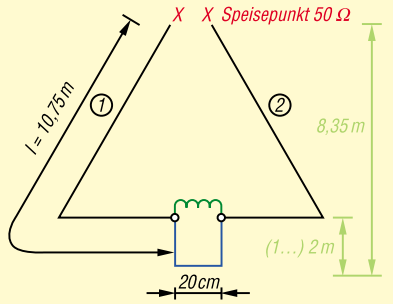

Bild 1: Prinzipdarstellung der Loop; blau – 20 m, grüne Spule – 30 m; für 40 und 15 m ist die Verbindung zwischen beiden Drahtenden aufgetrennt; Maße für Blankdraht.

Es zeigt sich also, dass es entgegen [1] wohl besser ist, zuerst die Inverted Vee auf 40 m abzugleichen und dann mithilfe eines kleinen Stubs Resonanz auf 20 m herzustellen. Auch die Resonanz auf 15 m liegt etwas daneben, wenn sie auf 40 m genau stimmt. Mit etwas Probieren lässt sich dennoch ein Kompromiss finden, wie Tabelle 1 ausweist.

Zur nun notwendigen Verlängerung für 20 m kann der erwähnte, in Bild 1 blau dargestellte, Stub dienen, zwei parallele und am Ende verbundene, 25 cm lange Drähte in 20 cm Abstand erwiesen sich als passend. Den gleichen Zweck erfüllt eine kleine Spule, hier konkret 0,4 µH.

Für die 30-m-Loop muss die Spule 17,1 µH aufweisen. In der Praxis wird man den richtigen Wert ohnehin durch Probieren ermitteln; in [1] sind als Startwert 30 Windungen 1 mm CuL auf einem 50-mm-Körper ange-

Tabelle 1: Simuliertes Resonanzverhalten der Vierband-Loop

Band	f_{res}/MHz	Z_{res}/Ω	s_{res}*	s_u*	s_o*
40 m	6,97	16,0	3,12	3,14	4,0
30 m	10,125	58,0	1,16	1,2	1,23
20 m	14,175	114	2,28	2,43	3,36
15 m	21,3	51,5	1,03	2,8	1,68

* SWV im Resonanzfall, an der unteren sowie an der oberen Bandgrenze

Verringerung des senderseitigen SWV bei langen Antennenkabeln

Jede reale Leitung und somit auch das als Speiseleitung dienende Koaxialkabel weist eine Dämpfung auf, die von Kabeltyp, -länge und Frequenz abhängt. Geht man von durchaus realistischen 20 m Weg bis zum Mast und weiteren 10 m bis zum Speisepunkt an dessen Spitze aus, so bringt es das beliebte RG58CU-Kabel bei 14,35 MHz bereits auf knapp 2 dB Dämpfung, selbst bei RG213U sind es 0,75 dB. Der vom Antennenspeisepunkt reflektierte Teil der Leistung erfährt auf dem Rückweg zum Sender nochmals 2 bzw. 0,75 dB Dämpfung. Somit ist die Spannung der hinlaufenden Welle U_{hin} am Antennenspeisepunkt niedriger als am Senderausgang. Ferner ist die Spannung der rücklaufenden Welle $U_{rück}$ am Senderausgang niedriger als am Antennenspeisepunkt. Ein SWV-Messgerät am Senderausgang misst aber

$$s = \frac{U_{hin} + U_{rück}}{U_{hin} - U_{rück}}.$$

Da U_{hin} höher und $U_{rück}$ niedriger als direkt an der Antenne ausfallen, wird ein zu niedriges (zu gutes) SWV vorgetäuscht. Anders gesagt, das SWV ist am Senderausgang merklich besser als am Antennenspeisepunkt.

Um dies genauer zu bestimmen, bedient man sich am besten des Reflexionsfaktors r:

$$r = \frac{s - 1}{s + 1}. \qquad (1)$$

Dann ist der senderseitige Wert r_{TX}

$$r_{TX} = \frac{r_{Ant}}{10^{a/\mathrm{dB}}}, \qquad (2)$$

wobei sich der antennenseitige Reflexionsfaktor r_{Ant} gemäß (1) aus dem antennenseitigen SWV s_{Ant} berechnen lässt. Ferner ist zu beachten, dass der Zahlenwert für die Dämpfung a auch wirklich positiv eingesetzt wird! Schließlich erhalten wir für das senderseitige SWV s_{TX}

$$s_{TX} = \frac{1 + r_{TX}}{1 - r_{TX}}. \qquad (3)$$

Genaueres hierzu kann man in [3] und [5] nachlesen. Mit den Werten aus Tabelle 1 erhalten wir schließlich für die kritischen Bänder 40 und 20 m:

Senderseitiges SWV bei 30 m RG58CU

Band	a/dB	s_{u_TX}	s_{o_TX}
40 m	1,32	2,22	2,59
20 m	1,88	1,68	2,08

Senderseitiges SWV bei 30 m RG213U

Band	a/dB	s_{u_TX}	s_{o_TX}
40 m	0,52	2,68	3,28
20 m	0,74	1,98	2,68

geben. Laut DL5SWBs Mini-Ringkernrechner Version 1.1.2 [7], der auch Luftspulen beherrscht, werden zumindest theoretisch genau 21 Windungen mit 1 mm Abstand zueinander gebraucht.
Tabelle 1 zeigt das simulierte Resonanzverhalten. Unter dem Strich kommt heraus, dass die Antenne eigentlich nur auf 15 und 30 m sauber an 50-Ω-Koaxialkabel angepasst ist. Auf 20 m wäre genau genommen ein 2:1-Balun angebracht, der sich auf den anderen Bändern aber gerade kontraproduktiv auswirken würde. Jedoch erscheint die Anpassung auch bei direktem Anschluss noch vertretbar, wie wir gleich sehen werden.

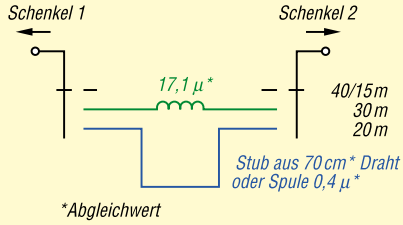

Bild 2: Mögliche Aufbauvariante für den Umschaltkasten; die beiden Ebenen des Umschalters können auch durch Relais ersetzt werden.

Die Dämpfung des Koaxialkabels tritt für die rücklaufende Welle zweimal in Erscheinung, sodass das sender- bzw. transceiverseitige SWV insbesondere bei längeren Speisekabeln deutlich besser ausfällt. Ausführlicher ist dies in nebenstehendem Kasten erklärt. Ohnehin verlieren wir selbst bei s = 3,0 erst 1,25 dB [4]; das hört am anderen Ende niemand, sofern die Schutzschaltung des Transceivers nicht bereits zurückregelt.
Noch etwas ungünstiger sind die Verhältnisse auf 40 m, hier steigt das SWV bis auf s = 4,0 und die Kabeldämpfung fällt niedriger aus. Dass dies zumindest bei einem 30 m langen Kabel am Transceiver noch halbwegs vertretbare Verhältnisse ergibt, zeigt die Tabelle im Kasten. Ein kleiner Tuner am oder im Transceiver, der ja in diesem Falle nicht die Resonanz hinquälen, sondern nur für Anpassung sorgen muss, kann gute Dienste leisten.

■ Aufbauhinweise

Eine mögliche Variante für den Umschaltkasten ist in Bild 2 dargestellt. Es kommt ein Umschalter mit zwei Ebenen zum Einsatz. Insbesondere, wenn statt dessen Relais Verwendung finden, ist auf hinreichenden Abstand zwischen den Enden der beiden Antennenschenkel zu achten, da diese bei 40 und 15 m „heiße“ Dipolenden (Spannungsbauch) darstellen.
Bei der Simulation bin ich von Blankdraht ausgegangen; wer isolierten Draht einsetzt,

Tabelle 2: Simulierte Gewinne der Vierband-Loop im Maximum und bei flachen Abstrahlwinkeln

Band	G_{max}/dBi	G_{DX}/dBi
40 m	2,15 bei 90°	–2,63 bei 22°
30 m	2,98 bei 90°	–3,72 bei 17°
20 m	4,07 bei 60°	–4,35 bei 11°
15 m	5,18 bei 31°	–1,98 bei 8°

muss die Längen der Schenkel auf etwa 95 % verkürzen. Eine „Feinabstimmung“ unter den konkreten örtlichen Verhältnissen ist ohnehin notwendig, zumal die tatsächliche Bodenleitfähigkeit merklich eingeht.
In jedem Falle ist es sinnvoll, das Koaxialkabel am Speisepunkt zu einer Mantelwellensperre aufzuwickeln, etwa fünf bis zehn Windungen mit ungefähr 15 bis 25 cm Durchmesser genügen bereits. Die Windungen sollten allerdings sauber neben- oder schneckenartig ineinander gewickelt werden, nicht durcheinander. Ein Balun ist dann nicht notwendig.
Man darf von solch einer Kompromissantenne keine Wunder erwarten. Eine azimutale Richtwirkung ist kaum ausgeprägt, und die vertikalen Strahlungsdiagramme weisen, wie Tabelle 2 erkennen lässt, einen hohen Steilstrahlungsanteil auf. Beim Einsatz als abgeknickte Inverted Vee ist dies leicht einzusehen, weil die Dipolenden durch die Erdnähe stark bedämpft werden. Und die Einspeisung am oberen Eckpunkt des Dreiecks – notwendig für den Kompromiss auf 40 und 15 m – ist bei einer Loop eine im Hinblick auf DX-trächtige, flache Abstrahlung keine günstige Wahl [8].

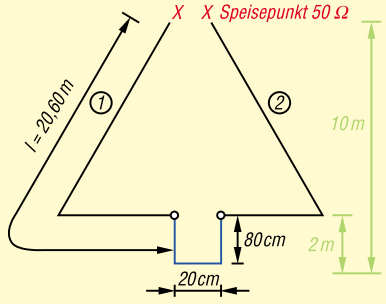

Bild 3: Prinzipdarstellung der Loop; blau – 40 m, für 80 m ist die Verbindung zwischen beiden Drahtenden aufgetrennt; Maße für isolierten Draht.

■ Variante für 80 und 40 m

Mit dem bisherigen Know-how ausgestattet, liegt es auf der Hand, auch mal eine Variante für 80 und 40 m zu probieren. Bild 3 zeigt den Entwurf, wobei der Simulation diesmal isolierter Draht zu Grunde liegt. Die Spitzenhöhe von 10 m lässt sich noch gut mit einem unten durch eine Dachlatte verlängerten „Spieth-Mast“ erreichen, allerdings beträgt die horizontale Längenausdehnung dann schon ungefähr 17,8 m.
Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, liegt die Impedanz bei 40 m weit über bzw. bei 80 m weit unter 50 Ω. Die SWV erscheinen unter Beachtung des vorher Gesagten gerade noch beherrschbar. Die Inverted Vee für 80 m erweist sich als ziemlich schmalbandig, weil das SWV bei Resonanz schon recht hoch ist. Die Dimensionierung nach Bild 3 erfolgte daher für den CW-Teil des Bandes. Ein kleiner Tuner am oder im Transceiver erscheint auch hier angebracht.

Tabelle 3: Simuliertes Resonanzverhalten der 80-m/40-m-Loop

Band	f_{res}/MHz	Z_{res}/Ω	s_{res}*	s_u*	s_o*
40 m	7,05	192	3,83	3,79	4,0
80 m	3,55	20,4	2,46	3,27	4,15†

* SWV im Resonanzfall, an der unteren sowie an der oberen Bandgrenze; † bei 3,65 MHz, s. Text

Tabelle 4: Simulierte Gewinne der 80-m/40-m-Loop im Maximum und bei flachen Abstrahlwinkeln

Band	G_{max}/dBi	G_{DX}/dBi
40 m	2,83 bei 90°	–3,1 bei 22°
80 m	0,47 bei 90°	–2,65 bei 30°

Eine azimutale Richtwirkung ist in beiden Fällen kaum ausgeprägt (Diagramm nahezu kreisförmig), und die vertikalen Strahlungsdiagramme weisen, wie Tabelle 4 erkennen lässt, einen hohen Steilstrahlungsanteil auf. Für Deutschland- und nahen Europaverkehr erscheint diese Kompromisslösung somit wie geschaffen.
Abschließend sei betont, dass alle Antennen hier lediglich – unter besonderer Beachtung von [6] – am PC simuliert wurden; für konkrete Erfahrungen nachbauender Leser wäre die FA-Redaktion dankbar.

redaktion@funkamateur.de

Literatur

[1] N.n.: Digest. Radiochobbi (Radiohobby) (2004) H. 4, S. 32–33
[2] Dautovic, M., T95C: Opjat Delta Loop (Noch eine Delta-Loop). Radio T9, (2004) H. 3 , S. 27
[3] Krischke, A., DJ0TR: Rothammels Antennenbuch. 12. Auflage, Baunatal 2001; sowie ältere Ausgaben
[4] Brumm, P., DL7HG: Tipps und Tricks für Selbstbauer, Was nützt das SWV? FUNKAMATEUR 51 (2002) H. 11, S. 1155
[5] Janzen, G., DF6SJ: Antennenmessungen durch die Speiseleitung – geht das denn überhaupt? FUNKAMATEUR 49 (2000) H. 9, S. 995–999
[6] Janzen, G., DF6SJ: Rechnet EZNEC immer richtig? FUNKAMATEUR 53 (2004) H. 3, S. 239–241; H. 4, S. 339–341
[7] Burmeister, W., DL5SWB: Software for Amateur Radio. *www.dl5swb.de*
[8] Hegewald, W., DL2RD: Simulationsbeispiel: Delta-Loop für 30 m. FA 52 (2003) H. 6, S. 603
[9] Thieme, R., DL7VEE: Eine 40-m-Loop-Antenne. FUNKAMATEUR 53 (2004) H. 10, S. 1035