

Antennen Technik

**Berechnung
einer Schleifenantenne
für Kurzwellen**

**Mitteilungen aus dem Institut
für Umwelttechnik
Nonnweiler-Saar
Dr. Schau
DL3LH**

Vorwort:

Manche Funk-Amateure, die genügend Platz ums Haus haben, verwenden gerne eine in sich geschlossene Antennenschleife, genannt Loop. Der mechanische Aufwand für diese Art der KW-Antenne ist enorm hoch. 3 oder 4 Aufhängepunkte für die Antenne und das in großem Abstand und in passabler Höhe müssen geschaffen werden.

Was bringt nun diese aufwändige Antenne für unser Hobby Amateurfunk im Verhältnis zu einem leicht aufzubauenden Dipol und welcher Gesamtwirkungsgrad stellt sich ein?

Zunächst berechnen wir nach der Momenten-Methode den Fußpunktwiderstand für die Dreieck- und Viereckschleife, Ausführung Kupfer $D = 3 \text{ mm}$, in einer Höhe von $h = 10 \text{ m}$ über realem Grund, dann die Gesamtverluste der Zweidraht Zuleitung zur Antenne und schließlich die Verluste in dem immer notwendigen Anpassnetzwerk. Eine Speisung der Antenne mittels Koaxkabel scheidet wegen der großen Zusatzverluste durch Stehwellen von vornherein aus.

Als Anpassnetzwerk wurde hier das optimale LC-Netzwerk gewählt. Es ist eindeutig in der Abstimmung und hat die geringsten Verluste. Andere APN's wie Z-Match, S-Match usw. haben immer höhere Verluste als das einfache LC-Netzwerk. T und Pi-Filter haben je nach Größe der Blindelemente enorme Verluste und sind vieldeutig beim Resonanz Abgleich.

Beim Übergang vom unsymmetrischen Senderausgang zur symmetrischen Zweidrahtleitung ist ein „Balun“ erforderlich. Dieser kann umgangen werden, wenn die Symmetrierung nach DL3LH verwendet wird. Wird ein Strom- oder Spannungsbalun zur Symmetrierung verwendet, sind die Transferverluste und die Strom - Wärme - Verluste zu berücksichtigen.
/1/

A. Fußpunktimpedanzen der 84 m Schleife, liegend

Höhe $h = 10 \text{ m}$, Kupferdraht Durchmesser $D = 3 \text{ mm}$, realer Grund mit $\mu_r = 5$, $S = 20 \text{ mS/m}$
Skin-Effekt berücksichtigt

A1: Viereckschleife 4 mal 21 m = 84 m Umfang, Einspeisung in der Mitte einer Seite

| Frequenz MHz | Fußpunktimpedanz Ω | Gewinn dBi | Polarisation |
|-----------------|------------------------------|---------------|--------------|
| 1.91 | 343 - j 11303 | 5.4 | H |
| 3.65 | 59 - j 15 | 8.5 | H |
| 7.05 | 218 - j 61 | 6.5 | H |
| 14.15 | 276 - j 416 | 9.2 | H |
| 21.20 | 392 - j 198 | 11.2 | H |
| 29.50 | 673 + j 357 | 6.4 | H |

A2: Dreieckschleife 3 mal 28 m = 84 m Umfang, Einspeisung in der Mitte einer Seite

| Frequenz MHz | Fußpunktimpedanz Ω | Gewinn dBi | Polarisation |
|-----------------|------------------------------|---------------|--------------|
| 1.91 | 1696 - j 25584 | 5.01 | H |
| 3.65 | 51 - j 79 | 8.3 | H |
| 7.05 | 172 - j 320 | 5.6 | H |
| 14.15 | 363 - j 316 | 9.7 | H |
| 21.20 | 420 - j 426 | 5.5 | V |
| 29.50 | 813 + j 456 | 11.7 | H |

B. Gesamtverluste der unter A1 und A2 berechneten Schleifen

B1. Viereckschleife

13 m Hühnerleiter $Z_0 = 600 \Omega$, Ls-Cp Anpassnetzwerk mit $Q_L = 50$, $Q_C = 500$, Symmetrierung nach DL3LH, kein Balun, Rechenleistung $P_o = 1000$ Watt.

| Frequenz MHz | Verluste der 13 m 600 Ω Leitung dB | Impedanz am Eingang der HL Ω | Verlust der LC- Schaltung Watt | Gesamt- Wirkungsgrad % | Ls μH | Cp pF |
|-----------------|---|--|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|----------|
| 1.91 | 0.82 | 3.5 - j 843 | 850 | 12.41 | 65.8 | 2166 |
| 3.65 | 0.10 | 241 + j 1014 | 193 | 78.82 | 18.5 | 142.5 |
| 7.05 | 0.028 | 823- j 711 | 108 | 88.6 | 5.62 | 74.2 |
| 14.15 | 0.064 | 204 + j 210 | 60 | 92.6 | 1.49 | 102.9 |
| 21.20 | 0.043 | 395 - j 199 | 63 | 92.7 | 1.09 | 39.2 |
| 29.50 | 0.051 | 369 + j 135 | 59 | 93.2 | 0.71 | 40.9 |

Der rot gekennzeichnete Wert bei $f = 1910$ KHz bedeutet, dass erst die Parallelkapazität und dann die Serieninduktivität im LC-Anpassnetzwerk geschaltet ist. Während bei den anderen Frequenzen immer erst die Serieninduktivität gefolgt von der Parallelkapazität geschaltet ist, gesehen vom Sender in Richtung Antenne.

B2. Dreieckschleife

13 m Hühnerleiter $Z_0 = 600 \Omega$, Ls-Cp Anpassnetzwerk mit $Q_L = 50$, $Q_C = 500$, Symmetrierung nach DL3LH, kein Balun, Rechenleistung $P_o = 1000$ Watt.

| Frequenz MHz | Verluste der 13 m 600 Ω Leitung dB | Impedanz am Eingang der HL Ω | Verlust der LC- Schaltung Watt | Gesamt-Wirkungsgrad % | Ls μH | Cp pF |
|--------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------|-------|
| 1.91 | 0.757 | $3.58 - j 879$ | 851 | 12.53 | 69.8 | 2071 |
| 3.65 | 0.127 | $115 + j 817$ | 196 | 70.04 | 18.61 | 152.8 |
| 7.05 | 0.056 | $2687 + j 2.76$ | 148 | 84.14 | 7.58 | 66.2 |
| 14.15 | 0.046 | $307 + j 210$ | 62 | 92.80 | 1.55 | 90.1 |
| 21.20 | 0.053 | $425 - j 326$ | 83 | 90.61 | 1.44 | 28.1 |
| 29.50 | 0.056 | $356 + j 223$ | 65 | 92.31 | 0.78 | 40.5 |

Der rote Wert bei $f = 1910$ KHz bedeutet, dass erst die Parallelkapazität und dann die Serieninduktivität im LC-Anpassnetzwerk geschaltet ist. Während bei den anderen Frequenzen immer erst die Serieninduktivität gefolgt von der Parallelkapazität geschaltet ist, gesehen vom Sender in Richtung Antenne.

Was kann man den Tabellen entnehmen?

Zunächst können die am Einspeisepunkt der Antenne und am Eingang der symmetrischen Zweidrahtleitung vorhanden Impedanzen, dann der Gesamtverlust der Zweidrahtleitung incl. der Verluste durch ein erhöhtes VSWR und die Verluste im LC-Anpassnetzwerk ersehen werden. Die Tabellen B1 und B2 zeigen außerdem den Gesamtwirkungsgrad der Antennenanlage. Als Rechenleistung wurde $P_o = 1000$ W gewählt wurde. Leicht kann daher auf eine andere Leistung umgerechnet werden, da Leistung und Leistungsverluste proportional zueinander stehen. Für das 160 m Band ist diese Antenne ungeeignet.

Beispiel Viereckschleife:

Aus der Tab. B1. ist bei der Frequenz $f = 7,05$ MHz und einer Senderleistung von $P_o = 1000$ W ein Verlust im Anpassnetzwerk zu $P_v = 108$ Watt und ein Gesamtwirkungsgrad $\eta = 88,6$ % berechnet. Aus Tab. A1 bei der Viereckschleife ist ein Gewinn über isotropen Strahler mit $G = 6.5$ dB angegeben, entsprechend einem linearen Faktor $F = 4,46$. ($10^{0.65} = 4,46$).

Wir berechnen den Verlust bei der zulässigen Leistung von $P_o = 750$ Watt. Dieser ist im APN bei der kleineren Leistung dann etwas niedriger und berechnet sich zu $P_v = 108 * 750 / 1000 = 81$ Watt. Diese dennoch enorme Verlustleistung kann nur durch eine Verbesserung der Spulengüte verringert werden. Berechnet wurde der Verlust für eine Spulengüte von $Q_L = 50$. (selten werden Spulengüten oberhalb von $Q_L = 50$ erreicht). Aus dem Gesamtwirkungsgrad ermitteln wir dann die Leistung oben an der Antenne zu $P_{ant} = 0,886 * 750 \text{ W} = 664,5 \text{ W}$. Das ist die tatsächliche Leistung an der Antenne unter Berücksichtigung des Antennenwirkungsgrades, weil die Verluste der Antenne in der Antennenberechnung berücksichtigt wurden. Im Realteil der Fußpunktimpedanz steckt der auf diesen Einspeise-Ort bezogene Verlustwiderstand der Antenne.

Die tatsächlich abgestrahlte Leistung EIRP berechnet sich mit dem Gewinn G dieser Viereckschleife von $G = 4,46$ nach Tab. A1 zu $P_{ab} = 4,46 * 664,5 \text{ W} = 2963,67 \text{ W}$.

Diese Leistung ist maßgeblich für die Ermittlung der Schutzabstände für die Standortbescheinigung gemäß der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) und über die erfolgreiche Überprüfung von ortsfesten Funkanlagen durch die [Bundesnetzagentur](#) (BNetzA) und Voraussetzung für den Betrieb einer Sendeanlage mit einer Strahlungsleistung von mehr als 10 Watt EIRP.

C. Fernfelddiagramme der liegenden Schleifen

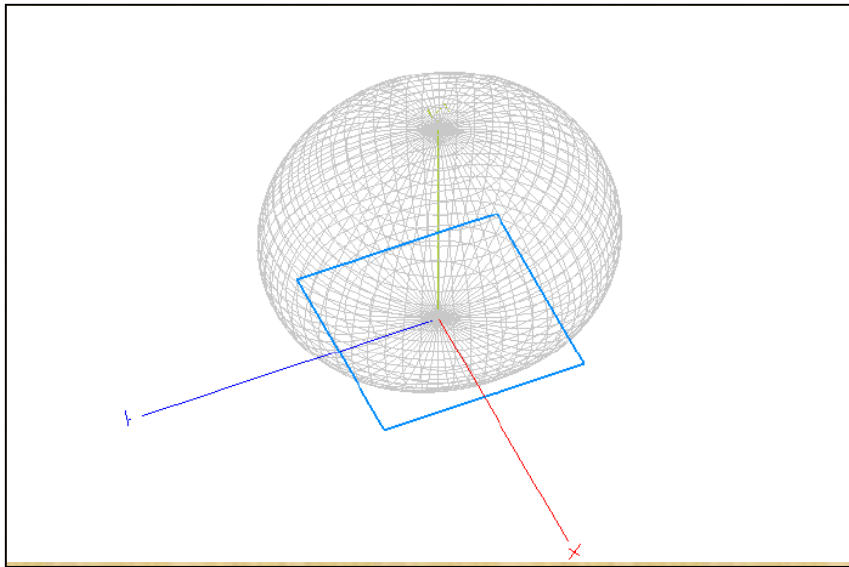


Bild 1: Fernfelddiagramm der liegenden **Viereck**-Schleife 4 x 21 m, $f = 3,6 \text{ MHz}$

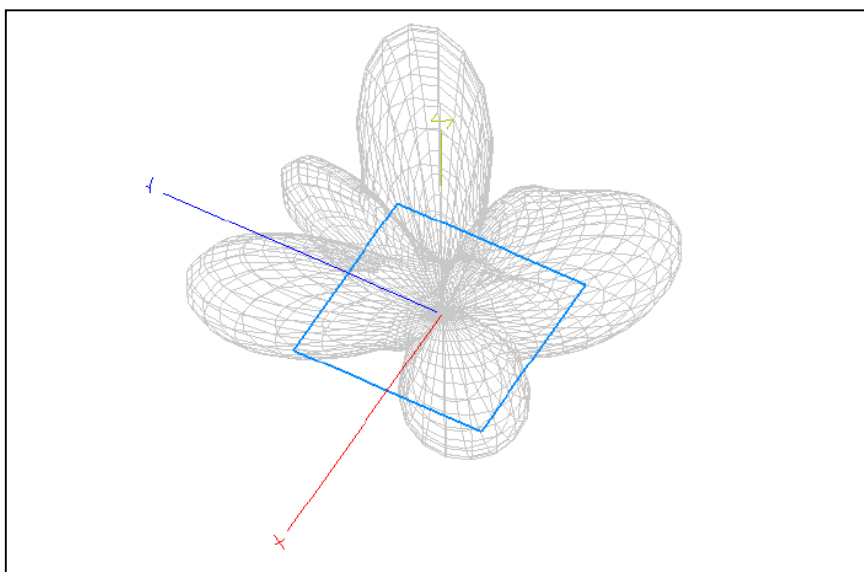


Bild 2: Fernfelddiagramm der liegenden **Viereck**-Schleife 4 x 21 m, $f = 14,15 \text{ MHz}$

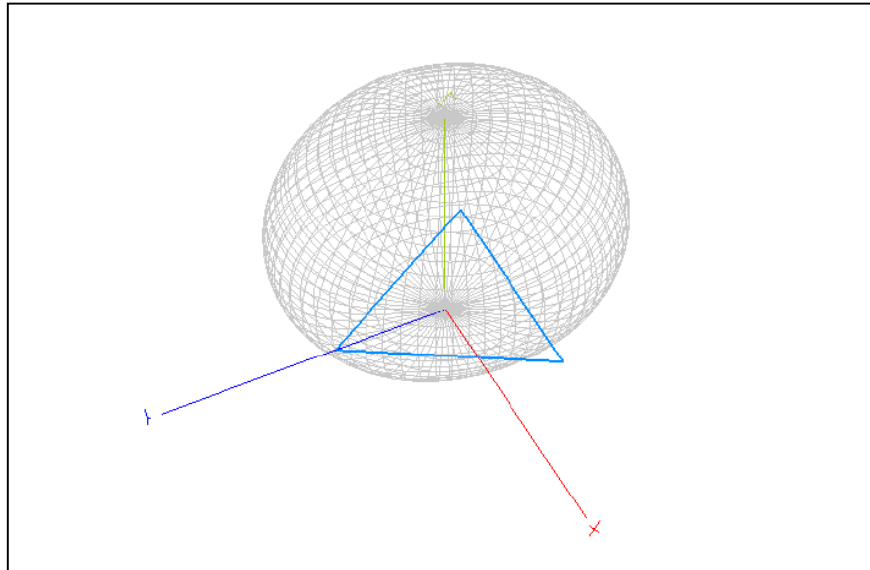


Bild 3: Fernfelddiagramm der liegenden **Dreieck** - Schleife 3 x 28 m, $f = 3.65$ MHz

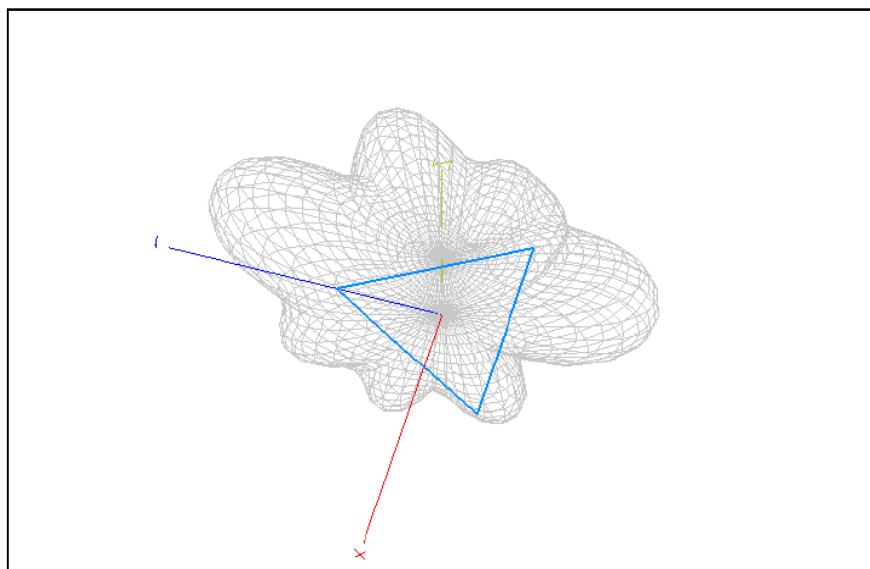


Bild 4: Fernfelddiagramm der liegenden **Dreieck** - Schleife 3 x 28 m, $f = 14.15$ MHz

Wie aus den Bildern 1 bis 4 ersichtlich, ist die Schleifenantenne bei den unteren Amateurbändern fast ein Rundstrahler. Die Hauptstrahlrichtung steht senkrecht auf der Antennenfläche. Bei den höheren Bändern gibt es ausgeprägte Strahlungsrichtungen wobei die Hauptleistung senkrecht zur Fläche der Antenne abgestrahlt wird.

Zusammenfassung:

Mehrfach wurde nach einer Berechnung einer 84 m Schleife auf www.ham-on-air.de nachgefragt, weil im Netz darüber wohl nichts zu finden ist. Deshalb hier die wesentlichen Daten für eine Viereck- und eine Dreiecksschleife gleichen Umfangs mit $U = 84$ m. Beide Schleifen mit einem Umfang von $l = 84$ m sind bedingt für die Bänder 80 bis 10 m geeignet.

Wenn eine Zweidraht - Antennenzuleitung mit dem Wellenwiderstand $Z_0 = 600 \Omega$ gewählt wird, sind die Verluste gerade noch tragbar und der Gesamtwirkungsgrad brauchbar. Eine koaxiale Antennenzuleitung scheidet wegen der hohen Verluste durch das hohe VSWR von vornherein aus. Durch Optimierung der Antennenanlage kann der Wirkungsgrad erhöht werden. Der einzige Vorteil einer Schleife gegenüber einem einfachen Dipol ist der, dass der Störnebel in Form der Gleichtaktstörungen reduziert wird. Was allerdings auch mit einem Faltdipol erreicht werden kann.

Ob sich der enorme Aufwand für eine Schleife lohnt muss jeder für sich, der entsprechend Platz hat, entscheiden. Meine diversen Versuche mit Schleifen aller Art haben keinen Vorteil gegenüber dem gestreckten Dipol ergeben.

Siehe dazu auch der Beitrag über „Dipol vs. Schleife“, Walter, DL3LH

Dr. Schau, DL3LH

wa-schau@t-online.de

www.heide-holst.de

<http://www.baeckerei-heitmann.de/DF1BT/>

Literatur

/1/ „Die Antenne macht die Musik“, DL3LH

/2/ „Antennen-Messtechnik I - V“, DL3LH

/3/ „Mythos Balun I, II“, DL3LH

/4/ „Transformatoren bei Hochfrequenz I bis VI“, DL3LH

/5/ „Passive Netzwerke zur Anpassung in hochfrequenten Schaltungen“, DL3LH

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.