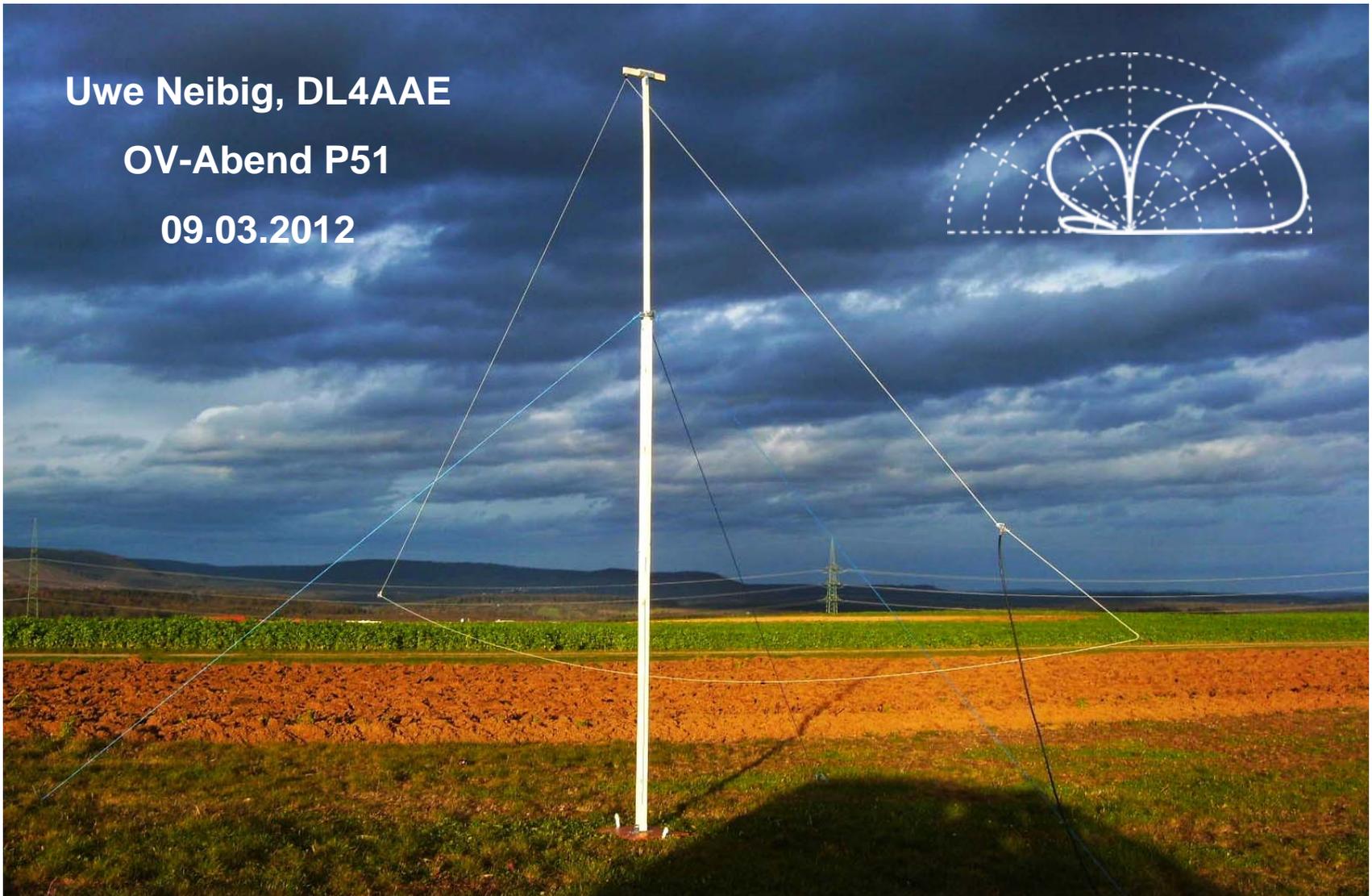


Delta-Loop-Antennen – neu optimiert für DX

Uwe Neibig, DL4AAE

OV-Abend P51

09.03.2012



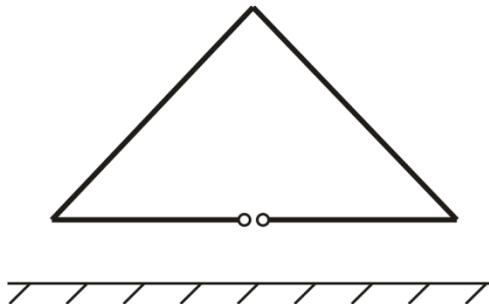
Inhalt

1. Grundlagen
2. Bekannte Konzepte
3. Ziele
4. Entwurf
5. Aufbau
6. Betriebserfahrungen
7. Entwurf für andere Bänder
8. Zusammenfassung
9. Literatur

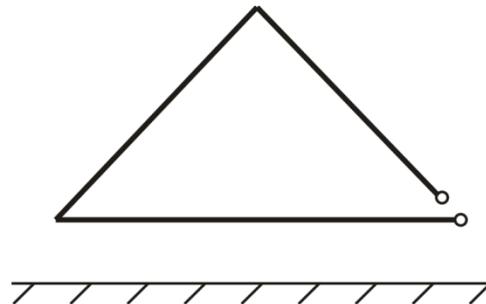
Grundlagen

Delta-Loops sind...

- Schleifenantennen,
- vom Umfang etwa einer Wellenlänge,
- mit der Spitze unten oder oben.
- Lage des Speisepunktes entscheidet über Polarisation:



überwiegend horizontal



überwiegend vertikal

- Flache Abstrahlung nur bei vertikaler Polarisation
- Dann etwa 25° Erhebungswinkel [1]
- **Wegen DX-Tauglichkeit nur diese hier betrachtet!**

Bekannte Konzepte

1-Element-Delta-Loop für 3520 kHz (DL1BU, 1979) [2]

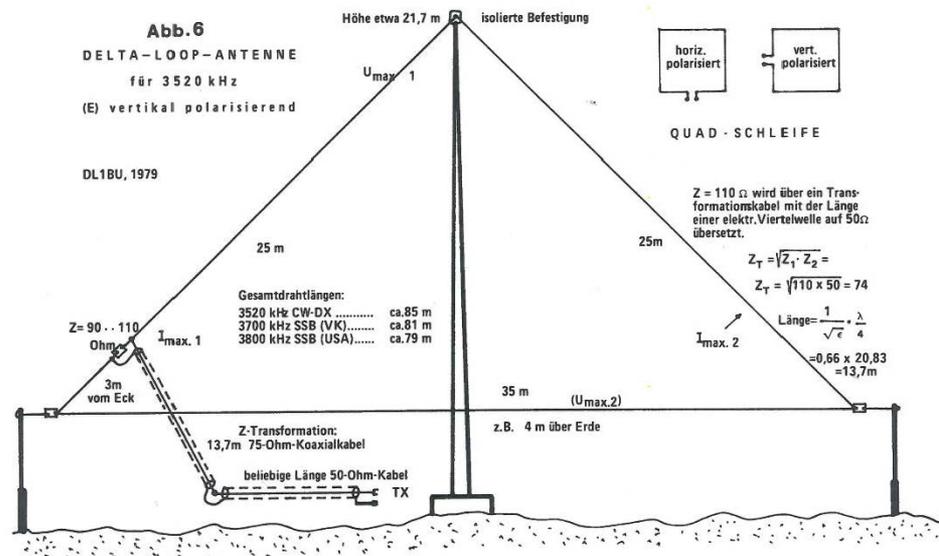


Bild entnommen aus: CQ DL 4/79, S.154

Eigenschaften:

- Speisepunktimpedanz 90..110 Ω => 75 Ω-λ/4-Leitung zur Anpassung
- Große Bandbreite mit geringem SWR
- Nahezu Rundstrahler
- Im DX-Vergleich (JA, VK, W6) gleichwertig einer Vertikalantenne mit „erstklassigem“ Erdnetz

Bekannte Konzepte

2-Element-Delta-Loop für 3,5 MHz (DL6WD, 1983) [3]

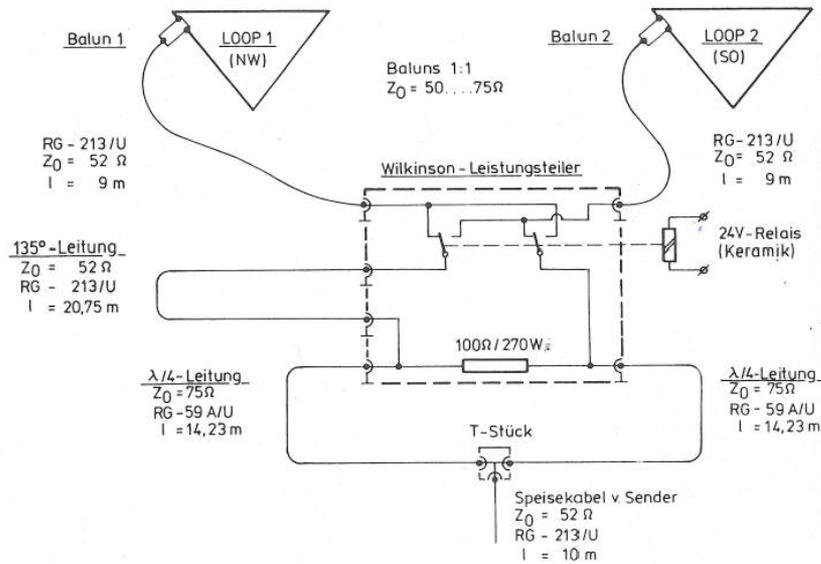


Bild entnommen aus: CQ DL 7/83, S.333

Eigenschaften:

- Speisung beider Schleifen mit Leistungsteiler und 135°-Umwegleitung
- Sehr guter Flachstrahler: DX-QSOs mit ZL, LU, KH6 problemlos
- Richtdiagramm herzförmig
- Vor/Rück-Verhältnis im Mittel 18 dB, Gewinn 5..6 dBd (Schätzung)
- Vorteil: „Halbe Welt abschaltbar“

Ziele

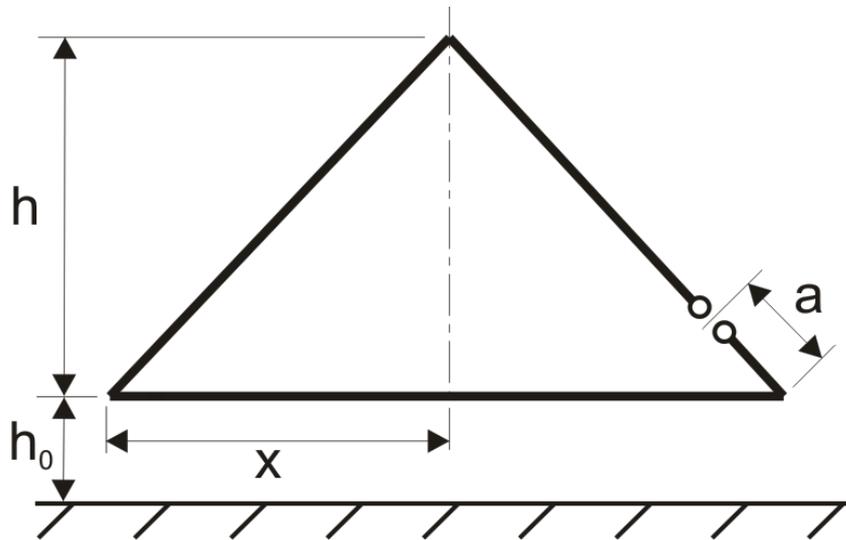
- Eigener Entwurf
- 1-Element-Version und 2-Element-Richtantenne
- Speisung vereinfachen
- Richtdiagramm optimieren
- Für 20-m-CW-Band
- Aufbau und Erprobung für CQWW-CW-Contest

Entwurf

- Mit Computer-Programm NEC-2 (Numerical Electromagnetics Code)
- Gut geeignet zur Analyse von (Draht-)Antennen
- Kann reale Erdbodeneigenschaften berücksichtigen
- Für diverse Computer-Plattformen frei verfügbar [4]
- Daten-Eingabe und -Ausgabe über Text-Dateien

Entwurf (1-Element)

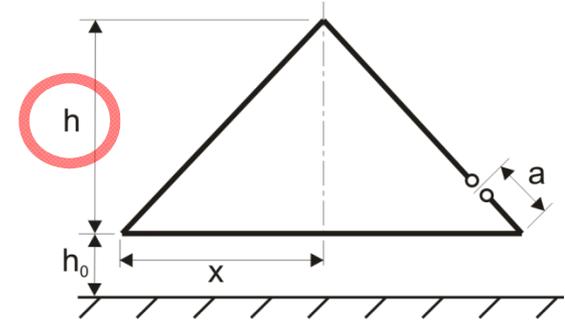
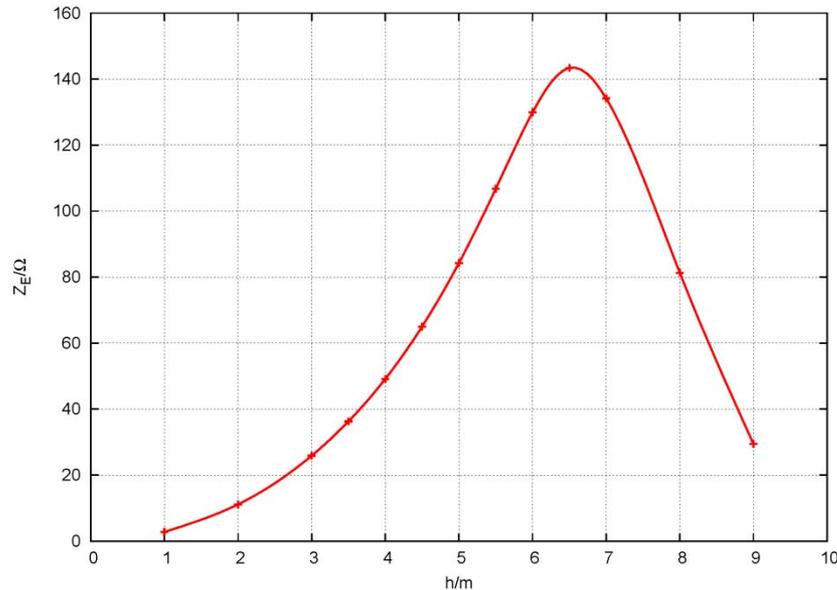
Geometrie der 1-Element-Delta-Loop



- Vorgegeben: Höhe h_0 über Erdboden und Dreieckshöhe h
- Aus gewünschter Resonanzfrequenz folgt Umfang U
- Aus U folgt Maß x
- Speisepunkt im Abstand a von unterer Ecke

Entwurf (1-Element)

Impedanz Z_E im Speisepunkt in Abhängigkeit von h (NEC-2):



- Vorgegeben: $h_0 = 2$ m, $a = 0$, Bodenqualität „sehr gut“, Umfang so, dass Resonanz bei 14,05 MHz
- Bei $h = 4$ m: $Z_E = 49 \Omega$
- Gewinn und Erhebungswinkel unverändert, aber **vereinfachte Speisung!**

Entwurf (1-Element)

Abhängigkeit der Antenneneigenschaften von h_o (NEC-2):

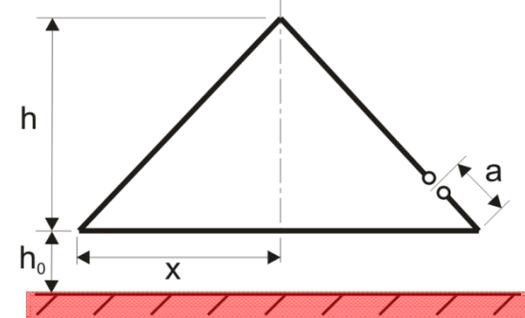
- Vorgegeben: $h = 4$ m, $a = 0$, Bodenqualität „sehr gut“
- Ein größeres h_o bewirkt:
 - Resonanzfrequenz steigt deutlich
 - Gewinn bleibt praktisch gleich
 - Z_E und Erhebungswinkel nehmen etwas ab
(z.B. von 20° bei $h_o = 2$ m auf 17° bei $h_o = 4$ m)
- => Deutliche Erhöhung wäre erforderlich
- => $h_o = 2$ m beibehalten



Entwurf (1-Element)

Abhängigkeit der Antenneneigenschaften vom Erdboden (NEC-2):

- Vorgegeben: $h_o = 2 \text{ m}$, $h = 4 \text{ m}$, $a = 0$,
 $U = 22,831 \text{ m}$
- Für vier typische Erdbodeneigenschaften aus [5] und Salzwasser
- Erhebungswinkel steigt mit schlechterer Bodenqualität nur gering an (vgl. [2])
- Sonderfall Salzwasser: 9°

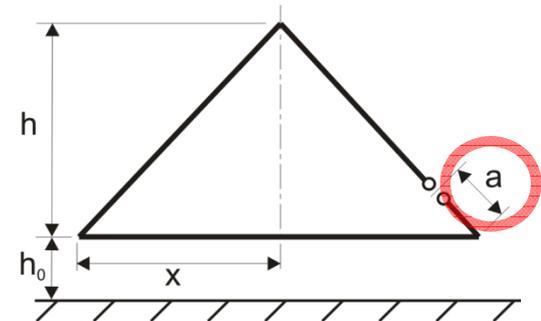
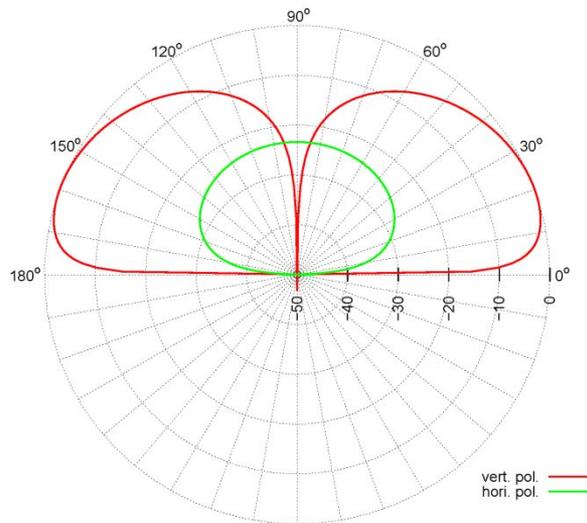


Bodenqualität	Bodentyp	Leitfähigkeit/ (S/m)	Relative Dielektrizitätszahl	Resonanzfrequenz/ MHz	Z_e/Ω	g/dBi	Erhebungswinkel/ Grad
sehr schlecht	Städte, Industriegebiete	0,001	5	14,06	41,0	1,6	26
schlecht	felsig, gebirgig	0,002	13	14,05	44,3	2,6	24
durchschnittlich	ländlich, Lehmboden	0,005	13	14,05	45,0	3,3	24
sehr gut	ländlich, fetter Boden	0,0303	20	14,05	49,1	3,3	20
-	Salzwasser	5	81	14,03	53,0	6,8	9

Entwurf (1-Element)

Abhängigkeit der Antenneneigenschaften vom Abstand a (NEC-2):

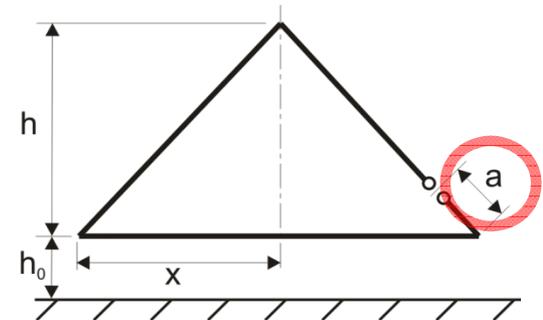
- DL1BU: $a = 3$ m für vertikale Polarisation (für 80-m-Band-Antenne [2])
- Genaue Analyse des Strahlungsdiagramms mit NEC-2:
- Bei Speisung in der Ecke ($a = 0$) tritt horizontal polarisierte, senkrecht nach oben gerichtete Strahlungskeule auf, 23 dB gedämpft
- Keine Nachteil auf oberen Bändern. aber auf unteren Bändern!



Entwurf (1-Element)

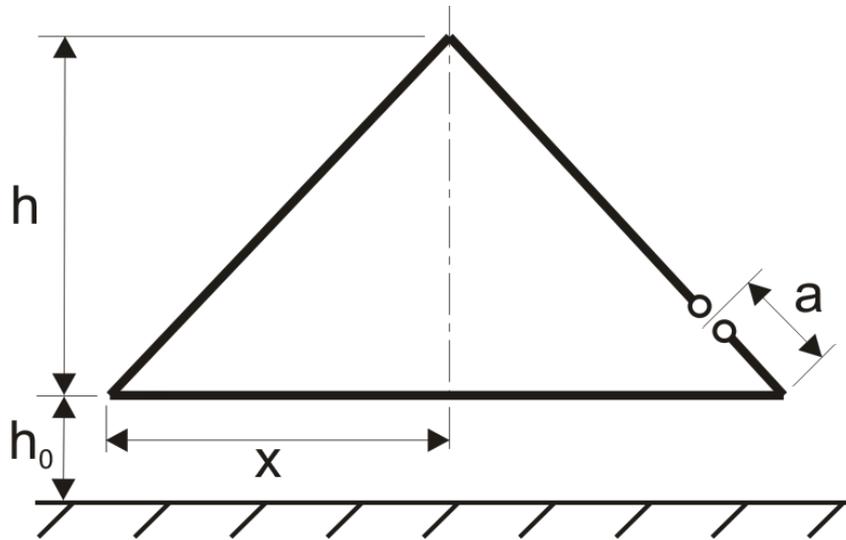
Abhängigkeit der Antenneneigenschaften vom Abstand a (NEC-2):

- Steilstrahlung nimmt ab mit größerem a , minimal für $a = 0,7$ m
- Optimum unkritisch: $a = 0,6 \dots 0,8$ m liefert > 40 dB Dämpfung
- Impedanz Z_E im Speisepunkt und Gewinn ändern sich nur wenig =>
- $a = 0,7$ m gewählt



Entwurf (1-Element)

Geometrie der optimierten 1-Element-Delta-Loop mit Resonanzfrequenz 14,05 MHz über „sehr gutem“ Erdboden (NEC-2):



$$h_0 = 2 \text{ m}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

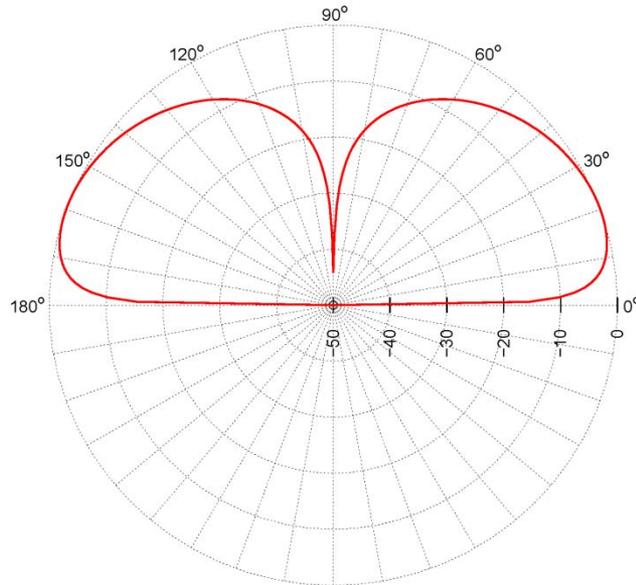
$$a = 0,7 \text{ m}$$

$$U = 22,83 \text{ m} (= 1,07 \lambda)$$

$$x = 5,01 \text{ m}$$

Entwurf (1-Element)

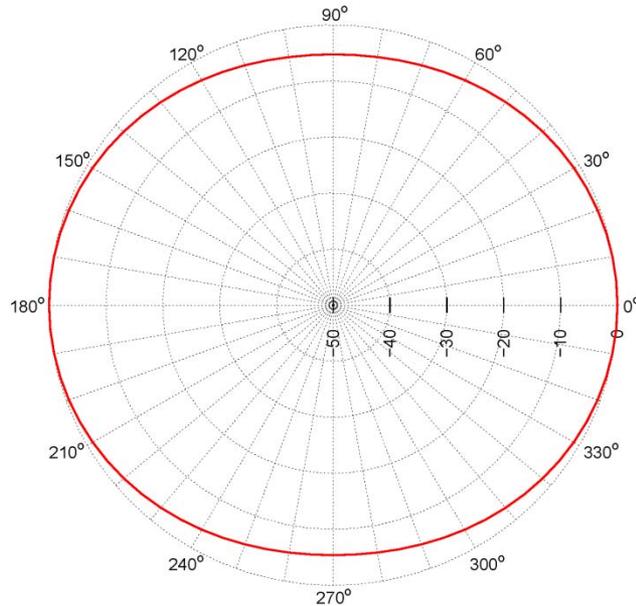
Vertikales Strahlungsdiagramm der optimierten Antenne (NEC-2):



- Auf 14,05 MHz über „sehr gutem“ Erdboden
- Diagramm auf Gewinn von 3,5 dBi normiert
- Erhebungswinkel der Hauptkeule 20°
- Senkrecht nach oben gerichtete Strahlung mehr als 40 dB gedämpft

Entwurf (1-Element)

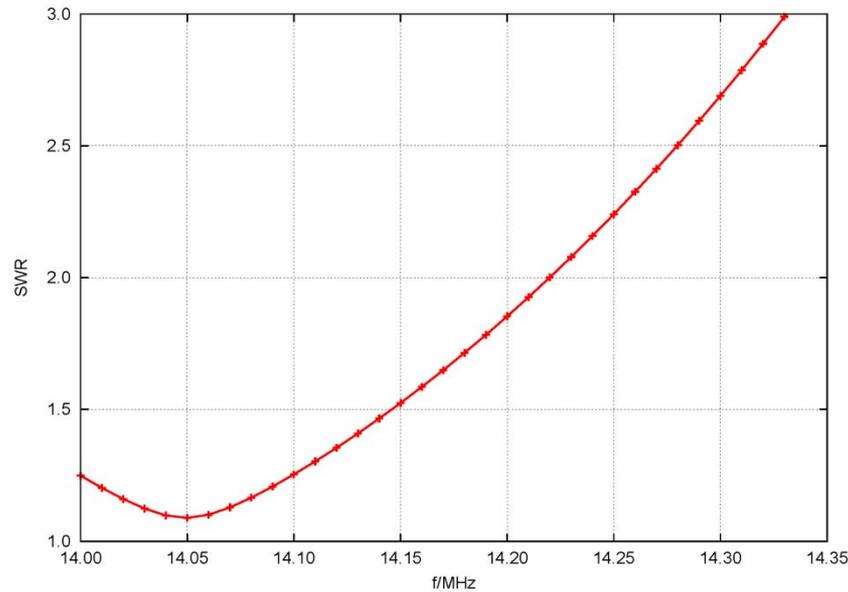
Horizontales Strahlungsdiagramm der optimierten Antenne (NEC-2):



- Diagramm auf Gewinn von 3,5 dBi normiert
- Diagramm unter Erhebungswinkel der Hauptkeule (20°)
- Einschnürungen von etwa 5 dB in der Schleifenebene =>
- Antenne ist nahezu Rundstrahler (Übereinstimmung mit [2])

Entwurf (1-Element)

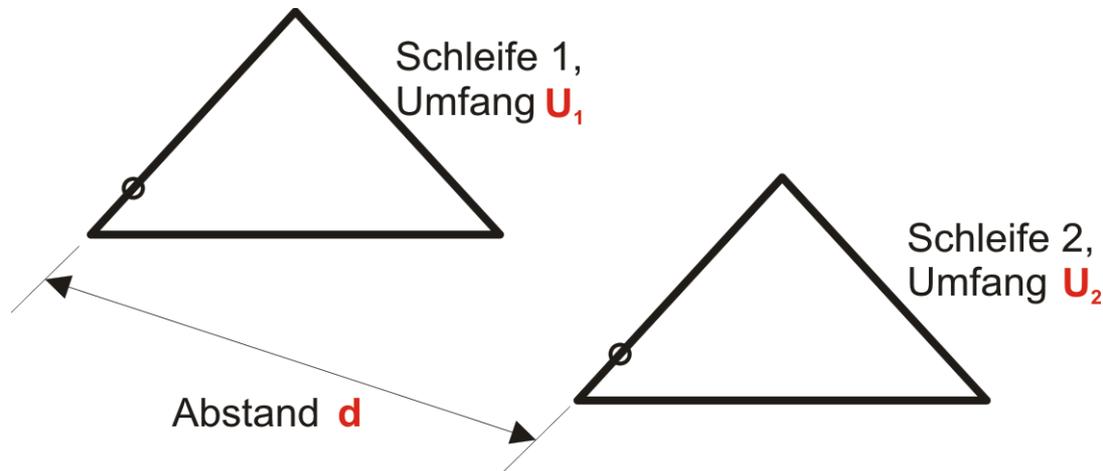
SWR-Verlauf der optimierten Antenne (NEC-2):



- Große Bandbreite mit guter Anpassung (Übereinstimmung mit [2])
- SWR < 1,5 weit über CW-Bereich
- SWR-2-Bandbreite 340 kHz
- In Bandmitte abgestimmte Antenne würde gesamtes Band abdecken!

Entwurf (2-Element)

Geometrie der 2-Element-Delta-Loop



Entwurfsziele:

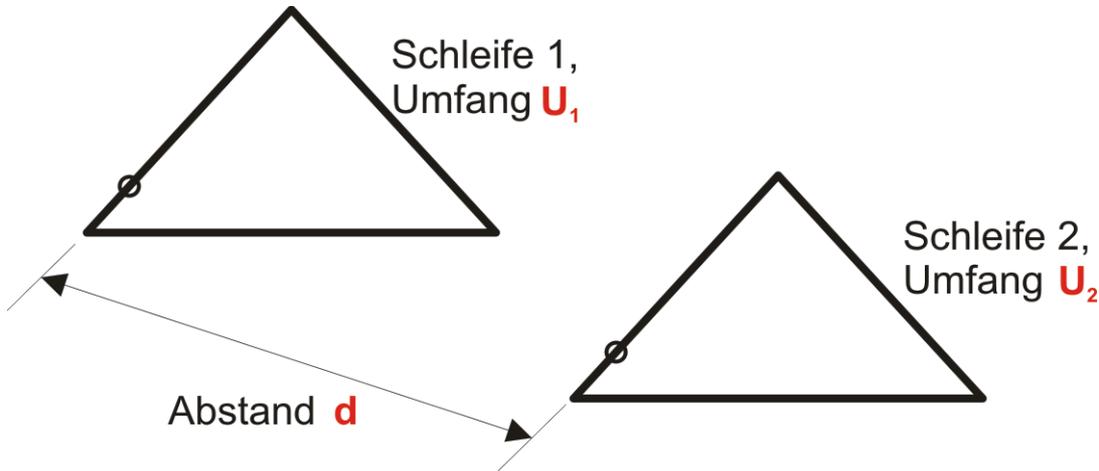
- Richtwirkung gegenüber 1-Element-Version
- Vereinfachung der Speisung (ohne Leistungsteiler und Umwegleitung)

Ergebnisse von NEC-2-Vorversuchen:

- Für parasitär erregten Reflektor mit $U_2 > U_1$: keine Kombination von U_1 , U_2 , d mit Gewinn und Rückdämpfung gefunden!
- Ebenso für parasitär erregten Direktor mit $U_2 < U_1$ (Bestätigung von [3])

Entwurf (2-Element)

Geometrie der 2-Element-Delta-Loop



Neuer Ansatz:

- Gleiche Umfänge beider Schleifen: $U_2 = U_1$

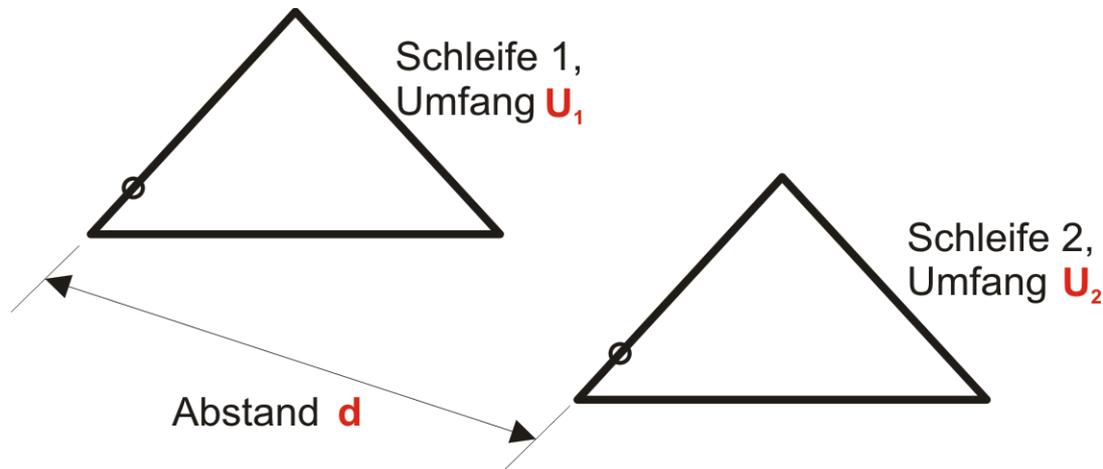
Ergebnisse der NEC-2-Rechnungen:

- Parasitär erregte Schleife wirkt als Reflektor
- 2-Element-Delta-Loop hat ausgeprägte Rückdämpfung
- Optimierung von U_2 und d auf maximale Rückdämpfung a_R

Entwurf (2-Element)

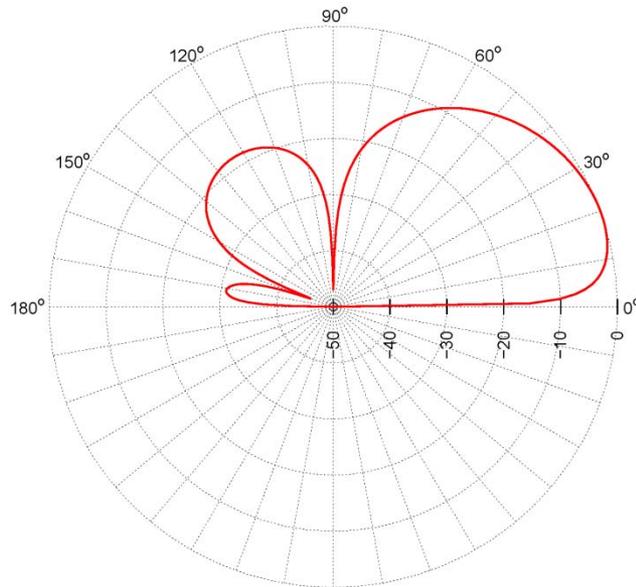
Ergebnisse der NEC-2-Optimierungen mit $h_o = 2$ m, $h = 4$ m, $a = 0,7$ m über „sehr gutem“ Erdboden auf 14,04 MHz:

- Maximale Rückdämpfung unter 20° bei $U_2 = 22,91$ m und $d = 4,2$ m
- Horizontaldiagramm herzförmig mit ausgeprägtem Minimum
- Schleifenabstand d unkritisch (3,8...4,4 m)
- a_R reagiert bei fester Frequenz empfindlich auf Änderungen von U_2
- \Rightarrow Bandbreite mit guter Rückdämpfung gering (80 kHz für $a_R > 20$ dB)
- \Rightarrow Schmalbandige Antenne, aber 20-m-CW-Bereich abgedeckt
- $Z_E = 73 + j 47 \Omega \Rightarrow SWR = 2,3$ (Ursache: Reflektor)



Entwurf (2-Element)

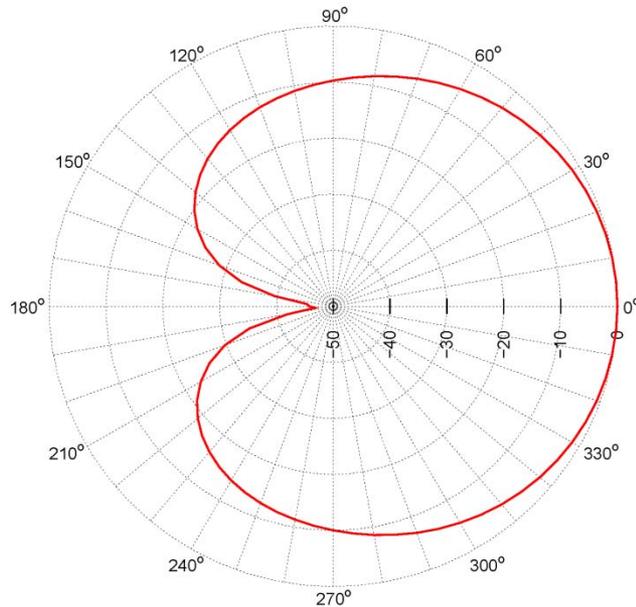
Vertikales Strahlungsdiagramm der optimierten Antenne (NEC-2):



- Auf 14,04 MHz über „sehr gutem“ Erdboden
- Diagramm auf Gewinn von 6,9 dBi normiert
- Erhebungswinkel der Hauptkeule 20°

Entwurf (2-Element)

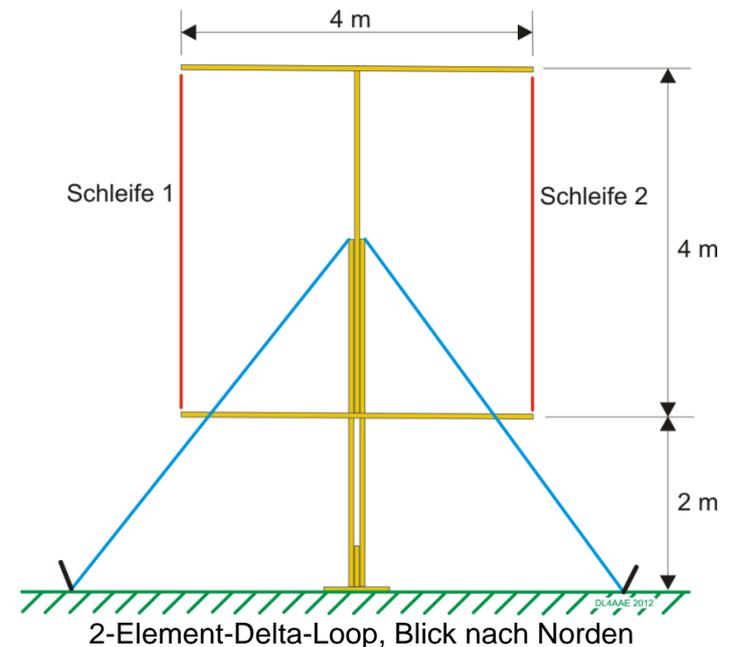
Horizontales Strahlungsdiagramm der optimierten Antenne (NEC-2):



- Diagramm auf Gewinn von 6,9 dBi normiert
- Diagramm unter Erhebungswinkel der Hauptkeule (20°)
- Rückdämpfung > 40 dB
- Einschnürungen von etwa 10 dB in der Schleifenebene (Nord-Süd)

Aufbau

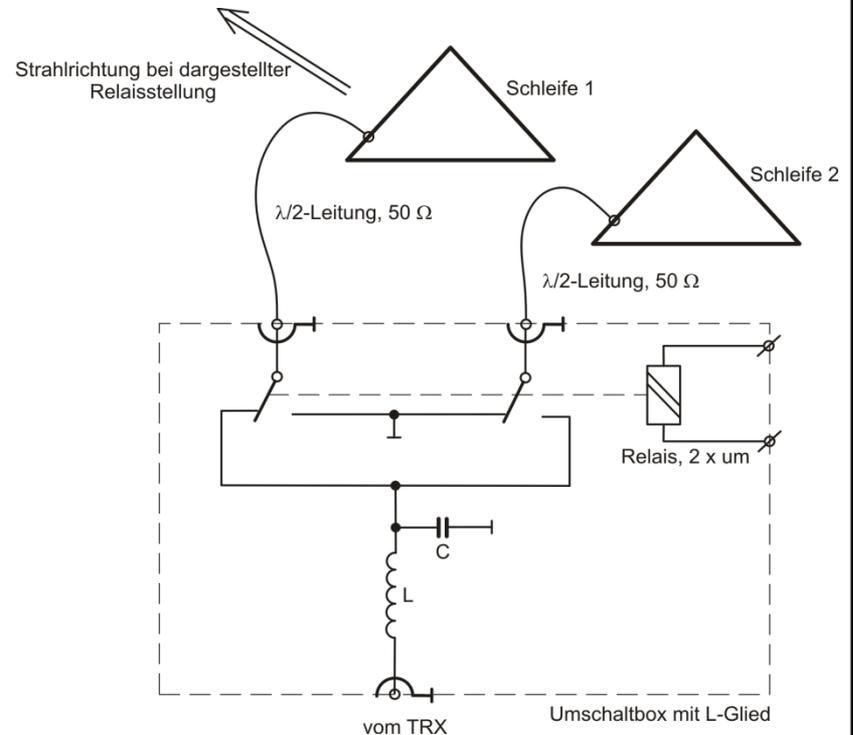
- Antennen jeweils für ein CQWW-CW-Wochenende aufgebaut
- 6-m-Holzmast trägt die Schleifen
- Querträger in 6 m und 2 m Höhe halten Dreiecksspitzen bzw. Mitte der Basen (2-Element-Version)
- Konstruktion aus 4-m-Holzplatten
- Isolierung der Dreiecksspitze beachten!
- Auf Baluns verzichtet [2]
- Ausrichtung der Schleifen Nord-Süd:
 - Von dort die wenigsten DX-Multiplikatoren erwartet
 - Mit Hauptstrahlrichtungen Ost und West DX-Gebiete mit den meisten Teilnehmern abgedeckt



Aufbau

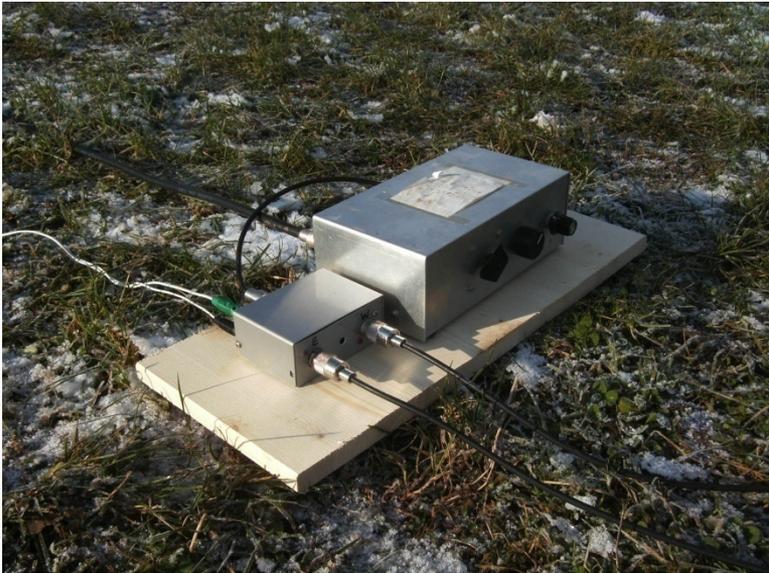
Richtungsumschaltung:

- Prinzip: Speisung Schleife 1 und Kurzschluss Schleife 2 (bzw. umgekehrt)
- Lösung: zentrale Umschaltbox mit zwei $\lambda/2$ -Leitungen zu Schleifen
- $\lambda/2$ -Leitung transformiert 1:1
- $\lambda/2$ -Leitungen: 6,96 m RG58
- Anpassschaltung in Umschaltbox möglich (z.B. L-Glied [1])
- Oder Anpassung am TRX-Ausgang (extern oder eingebaut)



Aufbau

Richtungsumschaltung:



Umschaltbox und L-Glied

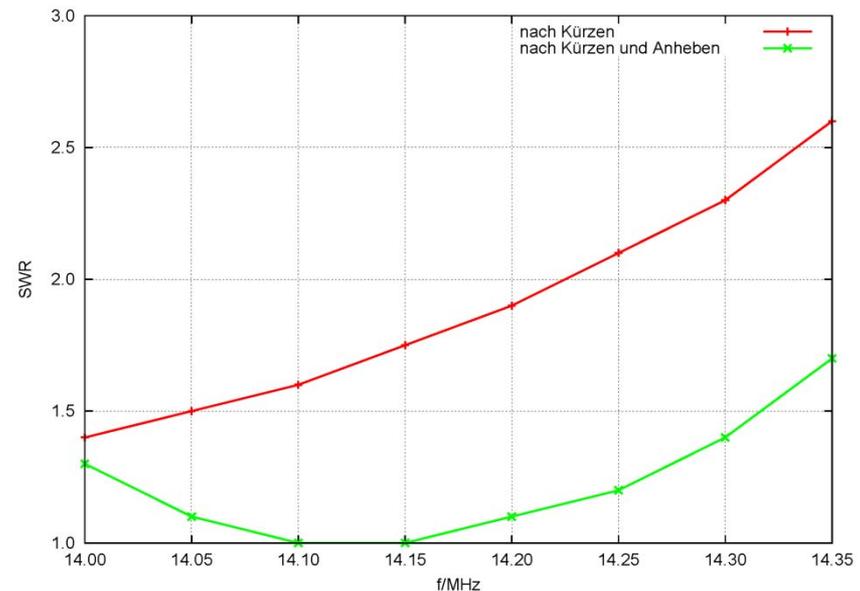
Der wichtigste Schalter im ganzen Contest: Umschaltung der Strahlrichtung Ost und West



Aufbau

SWR-Abgleich der 1-Element-Delta-Loop

- Für Abgleich Umfang mit 22,9 m bemessen (NEC-2: 22,83 m)
- Erst Kürzen um 90 cm brachte SWR-Minimum in CW-Bereich!
- Während Contest: Anheben Mitte der Dreiecksbasis auf 2 m
- Resonanzfrequenz 150 kHz höher
- Hauptgrund für Abweichung: Isolierung der Antennenlitze verlängert Leiter elektrisch
- NEC-2-Neuberechnung mit Rechenvorschrift aus [6] gibt gute Übereinstimmung zu Messung



Aufbau

Abgleich auf maximale Rückdämpfung der 2-Element-Delta-Loop

- Abgleich notwendig, da Optimum schmalbandig
- Übliches Vorgehen: Messwert an einer Feldstärkesonde in Rückwärtsrichtung auf Minimum abgleichen [1], [5]
- Hier problematisch: Fernfelddiagramm bildet sich erst ab etwa 100 m Abstand zur Antenne aus (NEC-2-Rechnung)
- Feldstärkemessung in 100 m Abstand unter 20° Erhebungswinkel?

Aufbau

Abgleich auf maximale Rückdämpfung, Lösung:

- Basiert auf NEC-2-Berechnung
- Maximale Rückdämpfung bei 14,04 MHz für $U_2 = 22,91$ m
- Resonanzfrequenz einer Einzelschleife mit diesem Umfang ist 14,0 MHz, wenn die andere Schleife offen =>

Abgleichvorschrift (ohne Anpassschaltung):

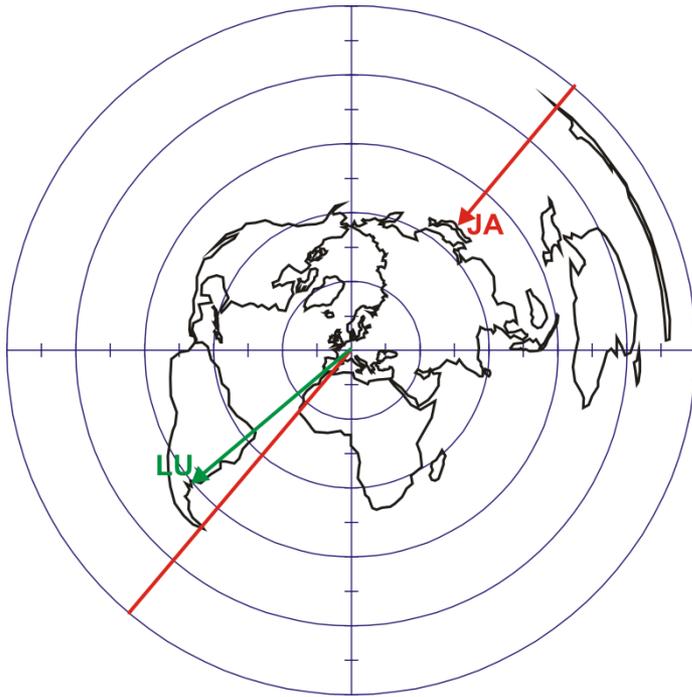
- Abgleich Schleife **1** auf minimales SWR bei 14,0 MHz, Schleife **2** offen
- Abgleich Schleife **2** auf minimales SWR bei 14,0 MHz, Schleife **1** offen

Betriebserfahrungen

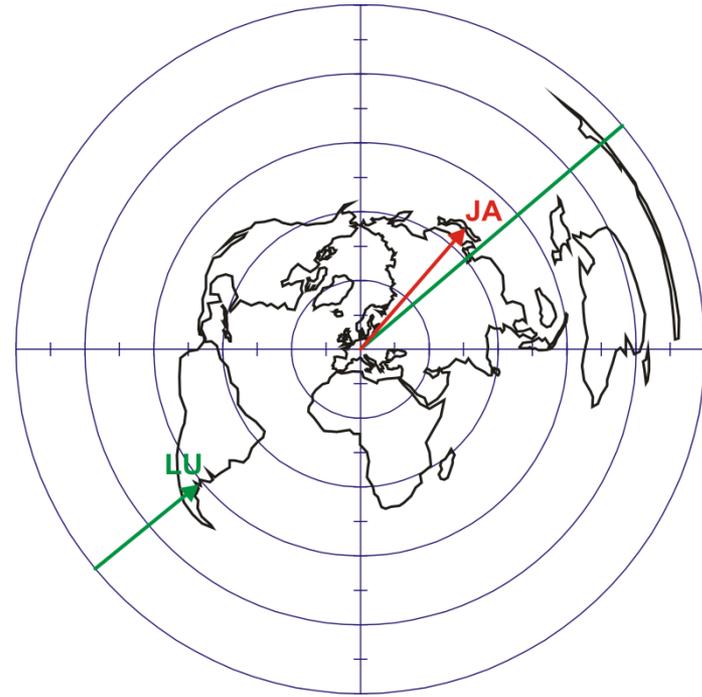
- 1-Element-Delta-Loop:
 - Sehr gute Anpassung an 50Ω (mit angehobener Dreiecksbasis)
 - Im Horizontaldiagramm keine besonderen Einschnürungen in den Richtungen der Schleifenebene bemerkt („Rundstrahler“)
- 2-Element-Delta-Loop:
 - SWR $< 1,5$ im gesamten 20-m-Band mit einmalig abgestimmtem L-Glied
 - Schnelle Umschaltung der Strahlrichtung: Vorteil beim DX-Betrieb
 - und Beobachtung interessanter Ausbreitungseffekte ...

Betriebserfahrungen

Ausbreitungseffekte im CQWW-CW-Contest 2010: Pfad nach LU und JA



Samstagmorgen

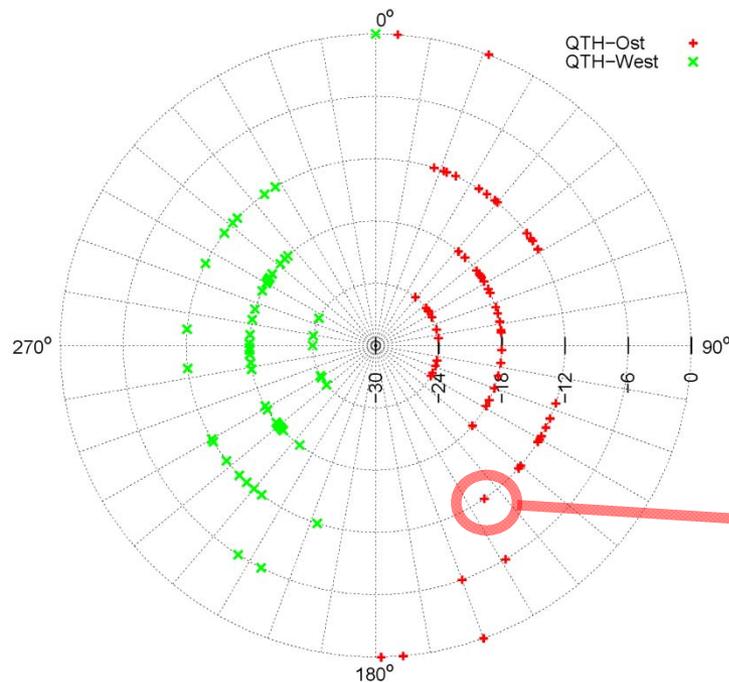


Sonntagmorgen

- Durch schnelles Umschalten der Strahlrichtung belegt
- Unterschied von 2..3 S-Stufen zwischen kurzem und langem Weg!

Betriebserfahrungen

Vor-Rück-Verhältnis, ermittelt an 200 Stationen im CQWW-CW-Contest



5H3EE, Beamrichtung 145°:
aus Strahlrichtung West 2 S-Stufen
schwächer als aus Strahlrichtung Ost

- Unterschied von 2..4 S-Stufen in Hauptstrahlrichtungen Ost und West
- Mittelwert von knapp 3 S-Stufen (gute Übereinstimmung mit [3])

Entwurf für andere Bänder

- Dimensionierung 2-Element-Delta-Loop für andere Bänder möglich, wenn alle Abmessungen und Bodeneigenschaften skaliert werden
- Aber praxisfern, z.B. für 80-m-Band-Antenne: 8 m über Erdboden und Antennendraht vier mal so dick wie bei 20-m-Band-Antenne!
- => Für jedes KW-Band eigene Optimierung erforderlich

Entwurf für andere Bänder

- Ergebnisse der Optimierungen (NEC-2) auf maximale Rückdämpfung über „sehr gutem“ Erdboden für alle KW-Bänder

Band	Entwurfreq./MHz	h_0/m	h/m	a/m	U_1/m	d/m	SWR- Min/MHz	Gewinn/dBi	Rückdämpfung/dB
160 m	1,82	4	31,0	5,60	171,530	30,0	1,815	9,0	34,0
80 m	3,51	4	16,0	2,80	89,980	13,0	3,505	8,2	40,8
40 m	7,02	4	8,0	1,40	45,546	8,2	7,000	7,6	45,8
30 m	10,12	3	5,5	1,00	31,698	5,8	10,095	7,2	42,0
20 m	14,04	2	4,0	0,70	22,910	4,2	14,000	6,9	45,8
17 m	18,12	2	3,1	0,60	17,825	3,5	18,060	6,7	47,3
15 m	21,05	2	2,7	0,50	15,382	3,2	20,975	6,5	45,9
12 m	24,94	2	2,3	0,37	13,010	2,8	24,845	6,3	42,8
10 m	28,05	2	2,0	0,35	11,585	2,6	27,950	6,3	40,9

- Angaben sind reine Rechenergebnisse, bis auf 20-m-Band nicht erprobt!
- Geeignet als Ausgangspunkt für Nachbauten, besonders Abstand **d**
- Neue Auslegung mit gleichen Schleifen funktioniert auf allen Bändern!
- Skalierung innerhalb eines KW-Bandes möglich, z.B. von 14,04 MHz auf 14,20 MHz: **h_0** , **h** , **a** und **d** beibehalten, Umfang **U_2** mit dem Faktor $14,04 / 14,20 = 0,98873$ multiplizieren

Zusammenfassung

- 1-Element- und 2-Element-Delta-Loop entworfen und optimiert
- Beide Antennen für 20-m-CW-Band aufgebaut und in CQWW-CW-Contests erprobt
- Messergebnisse und Betriebserfahrungen bestätigen Entwurfsergebnisse
- Vereinfachte Speisung und optimiertes Richtdiagramm
- Geringer Materialaufwand
- Von einer Person leicht zu errichten
- Vollwertiger DX-Richtstrahler als reine CW- oder SSB-Ausführung

Literatur

- [1] Alois Krischke, DJ0TR: „Rothammels Antennenbuch“, 12. Auflage, DARC-Verlag GmbH, Baunatal 2002
- [2] Günter Schwarzbeck, DL1BU: „Streifzug durch den Antennenwald, DX-Antennen für 80 m und 160 m“, CQ DL 4/79, S. 150-155
- [3] Rudolf Fischer, DL6WD: „Das Monster, eine 2-Element-Delta-Loop für 3,5 MHz“, CQ DL 7/83, S. 331-335
- [4] Homepage „The unofficial Numerical Electromagnetic Code (NEC) Archives“: <http://www.si-list.net/swindex.html>
- [5] American Radio Relay League: „The ARRL Antenna Book“, 15th Edition, Newington, CT, 1988
- [6] J.Moore, M.A.West: „Simplified analysis of coated wire antennas and scatterers“, IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., Vol. 142, No.1, February 1995, S. 14-18

