

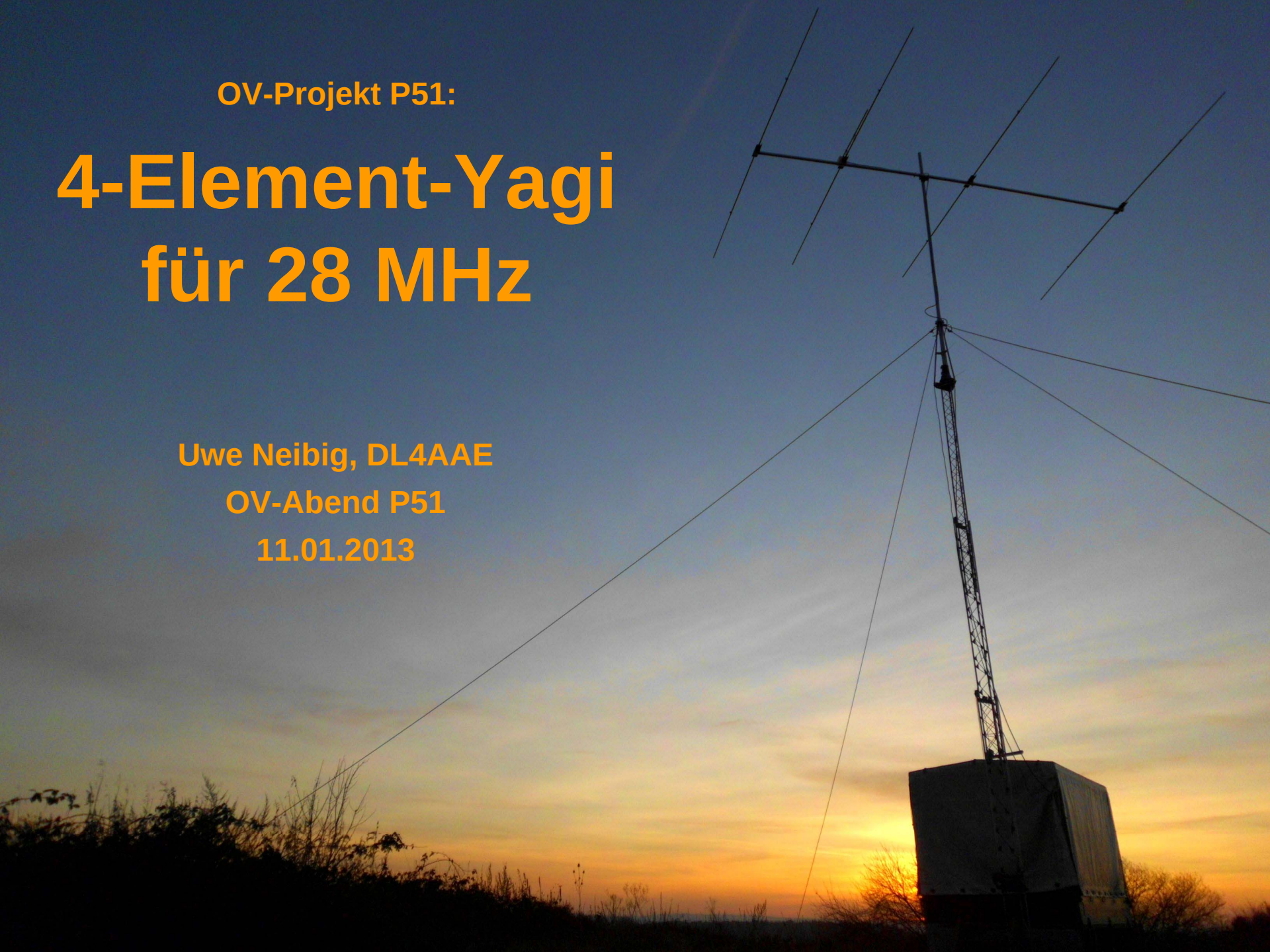
OV-Projekt P51:

4-Element-Yagi für 28 MHz

Uwe Neibig, DL4AAE

OV-Abend P51

11.01.2013



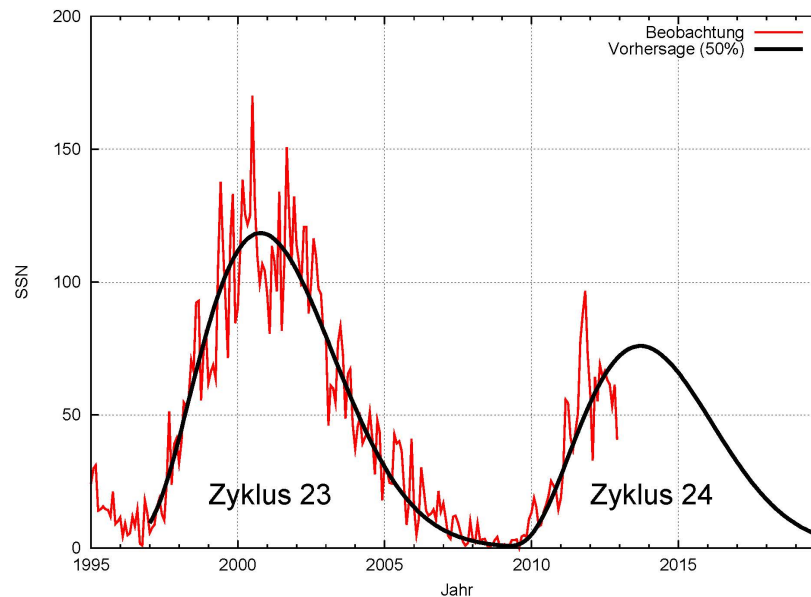
Inhalt

1. Motive
2. Ziele
3. Entwurf
4. Aufbau
5. Abgleich
6. Betriebserfahrungen
7. Zusammenfassung
8. Literatur

Motive

- Wieder mehr Sonnenflecken: weltweites DX auf 28 MHz möglich!
- Yagi für 28 MHz noch handlich: Selbstbau lohnt sich!
- Spaß am gemeinsamen Basteln!

Sonnenflecken-Zahlen der Zyklen 23 und 24 (Monatsmittel)



Quellen: NOAA (Beobachtung),
NASA (Vorhersage)

Ziele

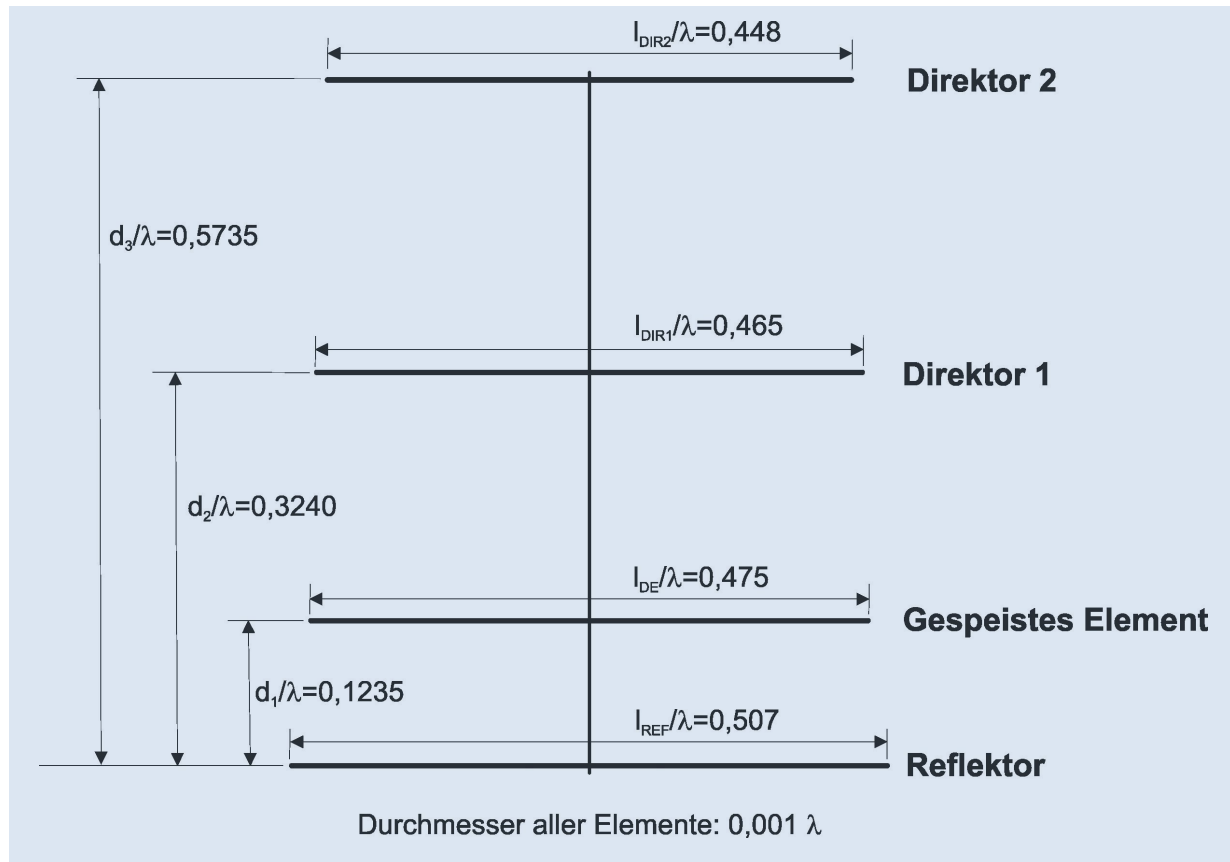
- 4 Elemente auf 6-m-Tragrohr (Boom)
- Hohes Vor/Rück-Verhältnis (V/R)
- Guter Gewinn
- Bandbreite zweitrangig
- Aufbau und Erprobung im CQWW-CW-Contest

Entwurf

- Basis: PV4-Design, 4-Element-Monoband-Yagi nach J.Lawson, W2PV [1]
- Vorteile:
 - Gewinn 9,6 dBi
 - $V/R > 30$ dB (auf Entwurfsfrequenz)
- Nachteil:
 - Bandbreite mit hohem V/R gering, z.B. über 20 dB etwa 1,5%
(420 kHz auf 28 MHz, ausreichend für „nur-CW“ oder „nur-SSB“)

Entwurf

- Grundlage der Optimierungen: Abmessungen des PV4-Designs aus [1], skaliert auf die Wellenlänge, Abstände mittig



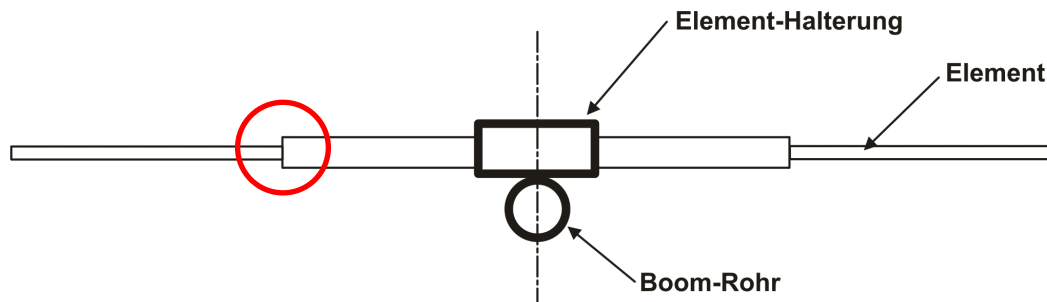
Entwurf

- Entwurfsfrequenz: 28,04 MHz
- ➔ Wellenlänge: 10,692 m
- ➔ 6,132 m Abstand zwischen Reflektor und Direktor 2 (mittig)
- Tatsächliche Boom-Länge müsste noch etwas größer sein (Befestigung)

PV4-Design auf 6-m-Boom für 28,04 MHz realisierbar?

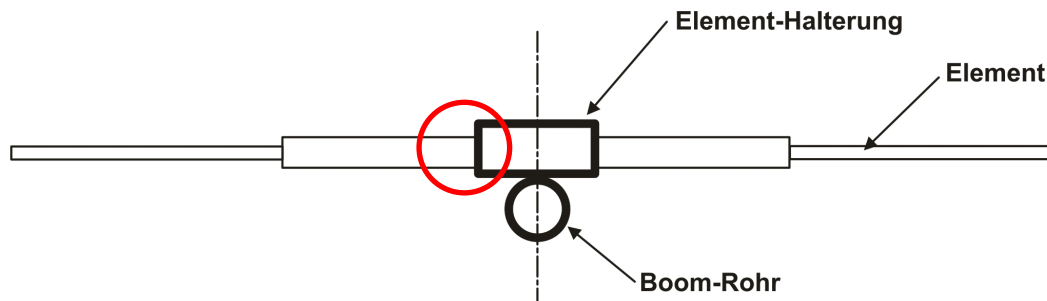
Entwurf

- Mit Computer-Programm NEC-2 (Numerical Electromagnetics Code)
- Gut geeignet zur Analyse von Antennen
- Für diverse Computer-Plattformen frei verfügbar [2]
- Daten-Eingabe und -Ausgabe über Text-Dateien
- Nachteil: NEC-2 gibt die elektrischen Längen von gestuften Elementen nicht korrekt wieder



Entwurf

- Auch Element-Halterungen beeinflussen elektrische Länge der Elemente
- Einfluss rechnerisch schwer zu erfassen
- ➔ Dreistufiges Vorgehen gewählt:
 1. NEC-2-Optimierung mit konstantem Elementdurchmesser
 2. Abschätzung der erforderlichen Längenkorrektur des äußeren, dünnsten Elements mit einer Rechenvorschrift nach Lawson [1]
 3. Messtechnischer Abgleich der aufgebauten Antenne



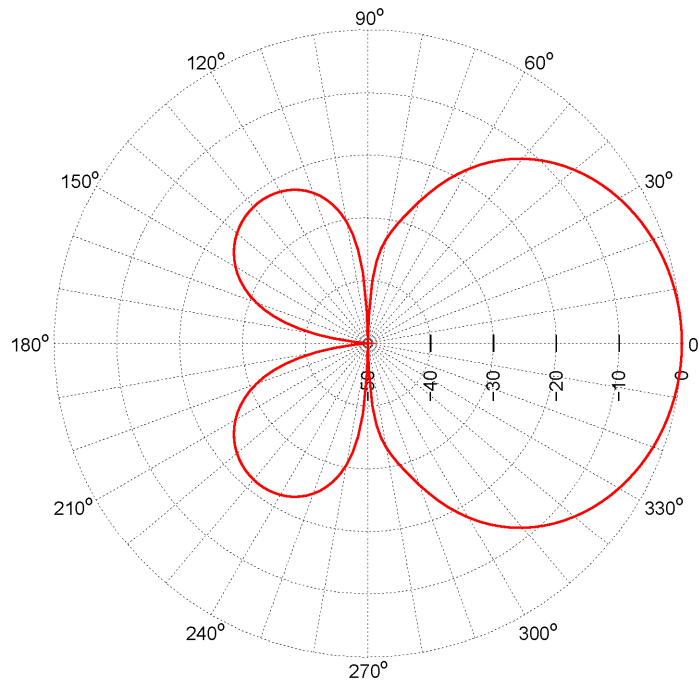
Entwurf

- Optimierungsziel: möglichst hohes V/R
- Gewinn zweitrangig
- Impedanz im Speisepunkt zweitrangig
- Bedingung: Abstand zwischen Direktor 2 und Reflektor = 5,94 m
- NEC-2-Optimierung im Freiraum, Elementdurchmesser 20 mm
- ➔ Ergebnis:

Größe	Länge, Abstand / mm
I_{REF}	5408
I_{DE}	5064
I_{DIR1}	4958
I_{DIR2}	4778
d_1	1360
d_2	3383
d_3	5940

Entwurf

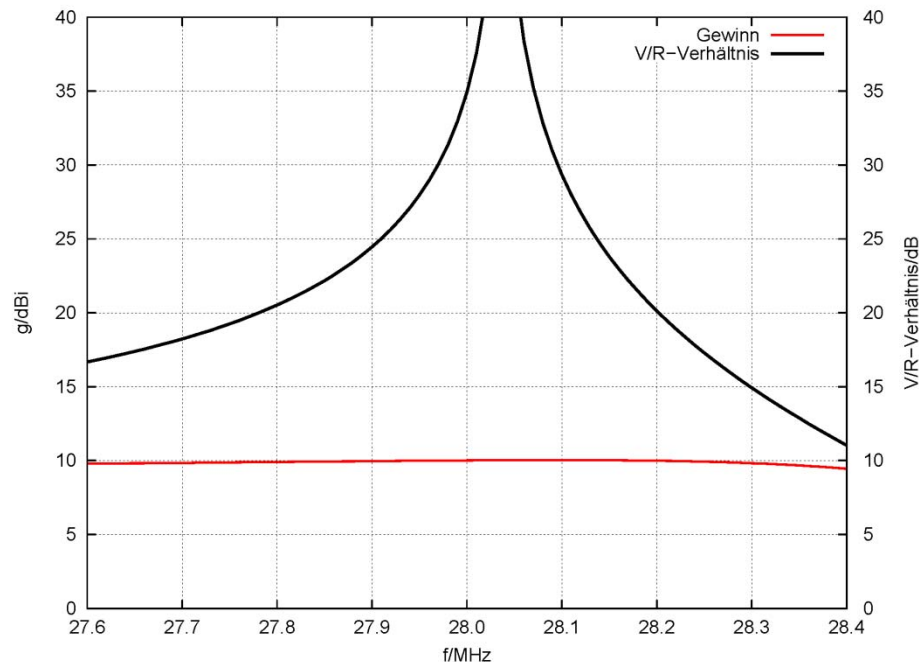
Horizontales Strahlungsdiagramm im Freiraum (NEC-2-Rechnung):



- Normiert auf Gewinn
- Gewinn 10,0 dBi
- typische Form des PV4-Designs
- ausgeprägtes V/R > 50 dB!
- zwei Nebenzipfel, etwa 22 dB gedämpft
- ➔ Optimierungsziel erreicht!

Entwurf

Frequenzgang von Gewinn und V/R im Freiraum (NEC-2-Rechnung):



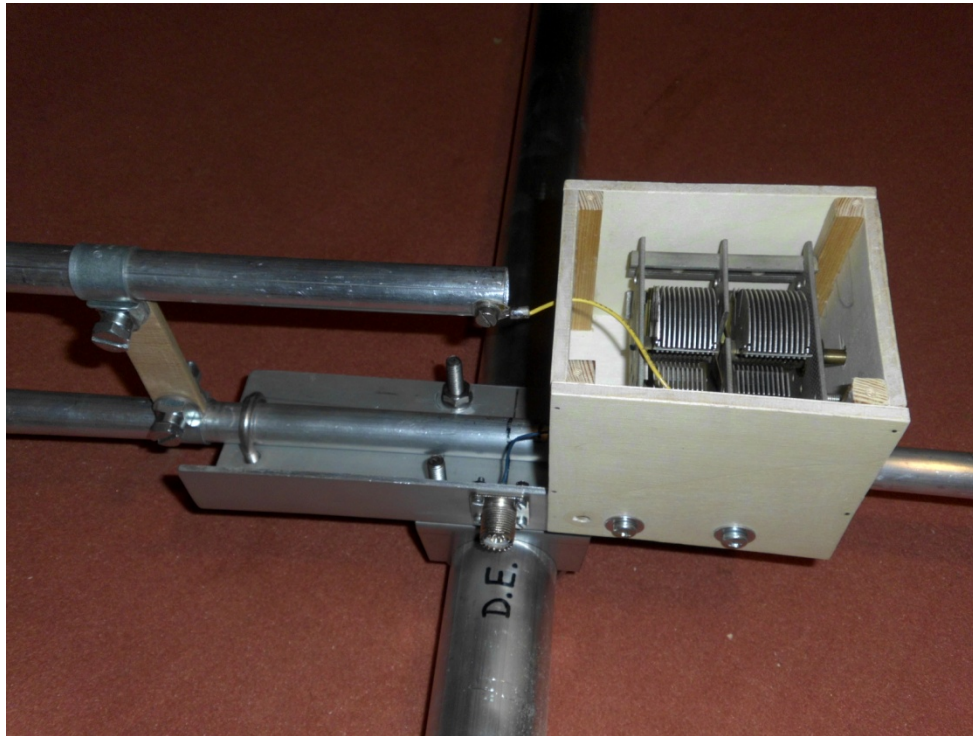
- Gewinn nur wenig frequenzabhängig
- V/R hängt deutlich von Frequenz ab
- Bandbreite mit V/R > 20 dB: 420 kHz (exakte Übereinstimmung mit [1])
- V/R fällt oberhalb Entwurfsfrequenz stärker ab
- Empfehlung für gemeinsamen CW- und SSB-Entwurf: Entwurfsfrequenz nach oben legen
➔ SSB-Entwurf hat im CW-Bereich fast gleichen Gewinn, allerdings bei vermindertem V/R...

Aufbau

- Gemeinsam mit 5...8 OV-Mitgliedern
- Alu-Rohre vom örtlichen Buntmetallhandel
- Boom-Rohr: 50 x 2 x 6000 mm, zum leichteren Transport geteilt
- Elemente:
 - Rohr 20 x 2,5 x 3000 mm in der Mitte
 - Rohre 16 x 3 mm außen, unterschiedliche Längen (Enden abgedreht)
 - 20-mm-Rohrschellen (Edelstahl) zur Verbindung
- Elementhalterungen:
 - Eigenbau aus Alu-L-Profil 80 x 40 x 270 mm, 3 mm dick
 - Befestigung mit U-Bügeln (Edelstahl)
- Mastrohrhalterung im Schwerpunkt der Antenne (nicht Boom-Mitte)

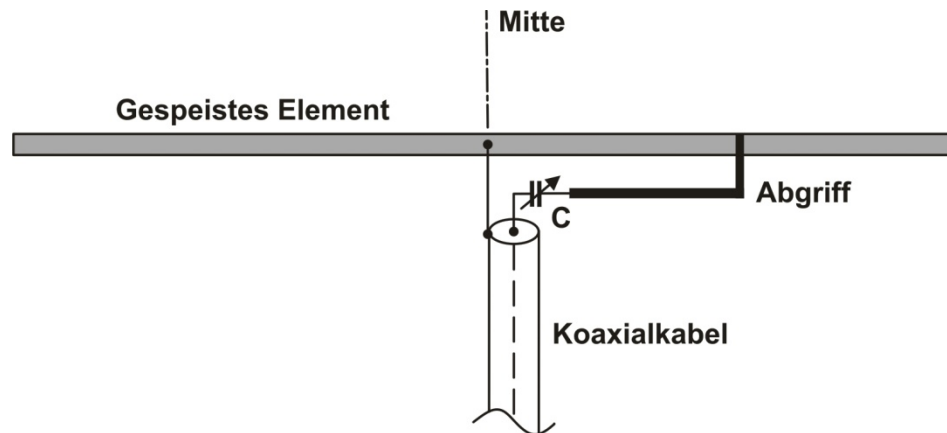
Aufbau

Halterung des gespeisten Elements:



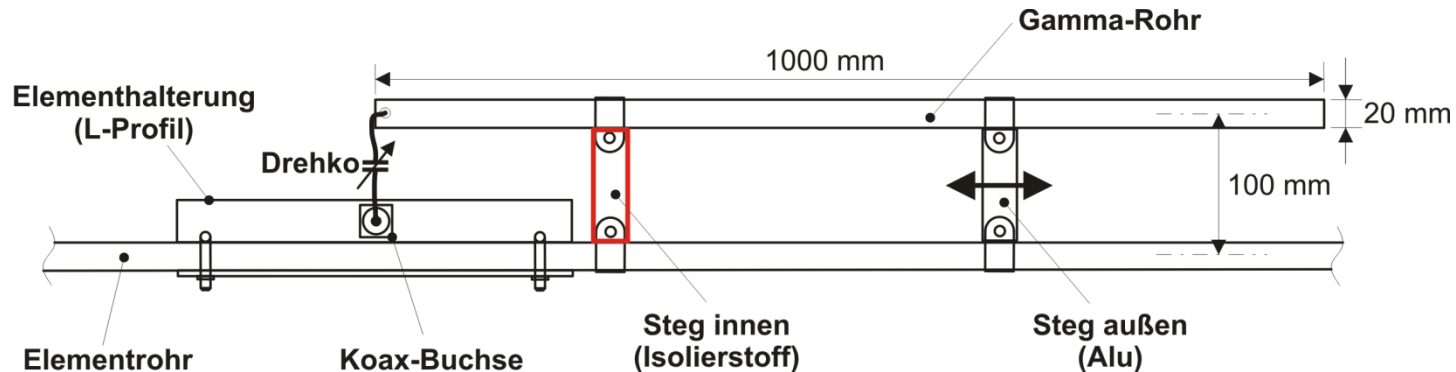
Aufbau

- Speisung mit Gamma-Anpassung [3]
- Vorteile:
 - Element durchgehend → mechanisch einfache Konstruktion
 - Element-Mitte leitend auf Boom → keine statischen Aufladungen
 - Speisung ohne Symmetriewandler direkt mit Koaxialkabel
 - Transformiert flexibel auch kleine Impedanzen (hier $16\ \Omega$)



Aufbau

Ausführung der Gamma-Anpassung (angelehnt an [4]):



- Drehko von einigen 100 pF, montiert in Gehäuse
- Alternative zu Drehko: Rohrkapazitor im Gamma-Rohr [1], [4]
- Abgleich auf minimales SWR: wechselseitiges Verschieben des äußeren Steges und Verstimmen der Serienkapazität
- Nach Abgleich lässt sich Drehko durch Festkapazitor ersetzen

Aufbau

Stückliste:

Anzahl	Teil	Abmessungen/mm	Material
1	Boom-Rohr	50 x 2,0 x 6000	Alu
4	Elementrohr, innen	20 x 2,5 x 3000	Alu
2	Elementrohr, REF, außen	16 x 3,0 x 1400	Alu
2	Elementrohr, DE, außen	16 x 3,0 x 1250	Alu
2	Elementrohr, DIR1, außen	16 x 3,0 x 1200	Alu
2	Elementrohr, DIR2, außen	16 x 3,0 x 1100	Alu
1	Gamma-Rohr	20 x 2,5 x 1000	Alu
12	Rohrschelle	für 20-mm-Rohr	Edelstahl
8	U-Bügel	20 mm Innenmaß, M6	Edelstahl
8	U-Bügel	50 mm Innenmaß, M8	Edelstahl
8	Haltebock	Für 50-mm-Rohr	Edelstahl
4	L-Profil	80 x 40 x 270, 3 dick	Alu
1	Steg	80 x 20	Alu
1	Steg	80 x 20	Kunststoff
1	Drehko	ca. 200 pF max. Kapazität	-
1	Gehäuse für Drehko	-	Kunststoff
1	Koax-Buchse SO-239 oder N	-	-

Gewicht der Antenne ohne
Mastrohrhalterung: 16 kg

Abgleich

Schritt 1:

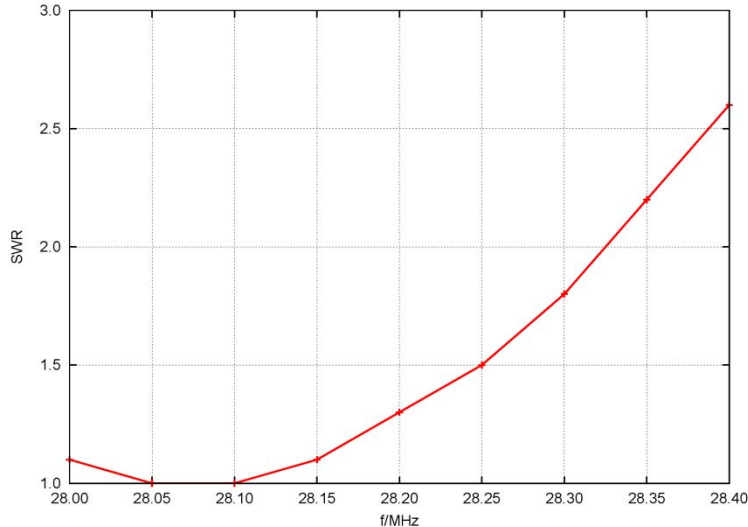
- Verlängerung der Elemente, um Durchmessersprung zu kompensieren
- Mit Rechenvorschrift nach Lawson [1]

Element	Halbe Elementlängen aus NEC-2-Optimierung für $d = 20$ mm	Verlängerung je Elementhälfte nach [1] für Stufung 20/16	Halbe Elementlängen daraus
REF	2704 mm	36 mm	2740 mm
DE	2532 mm	33 mm	2565 mm
DIR1	2479 mm	32 mm	2511 mm
DIR2	2389 mm	30 mm	2419 mm

Abgleich

Schritt 2:

- Errichten der Antenne auf 11 m hohem Mast (geplante Betriebshöhe)
- Abgleich auf minimales SWR bei 28,04 MHz mit Gamma-Anpassung
- Sogar möglich, wenn Mast gekippt (Reflektor in Bodennähe)
- ➔ SWR-Abgleich viel einfacher!



- Gemessener SWR-Verlauf der aufgerichteten Antenne
- Sehr gute Anpassung über gesamten CW-Bereich!

Abgleich

Schritt 3:

- Abgleich auf maximales V/R
- Ideal: unter Erhebungswinkel der Hauptkeule, hier 13°
(aus NEC-2-Abschätzung für sehr gute Bodenqualität)
- Signale unter diesem Winkel aus der Ionosphäre nicht stabil genug
- Geeignetes Testgelände nicht verfügbar (z.B. zwei gegenüber liegende Erhebungen)
- ➔ Messungen auf der Bodenwelle: 0,5-W-Träger aus 4 km Entfernung
- Erforderlich: Transceiver mit kalibriertem S-Meter oder schaltbares Dämpfungsglied
- Hier: mit AFV- und dBV-Anzeige des Elecraft K3 Transceivers [5]

Abgleich

Antennenmessungen mit dem Elecraft K3:

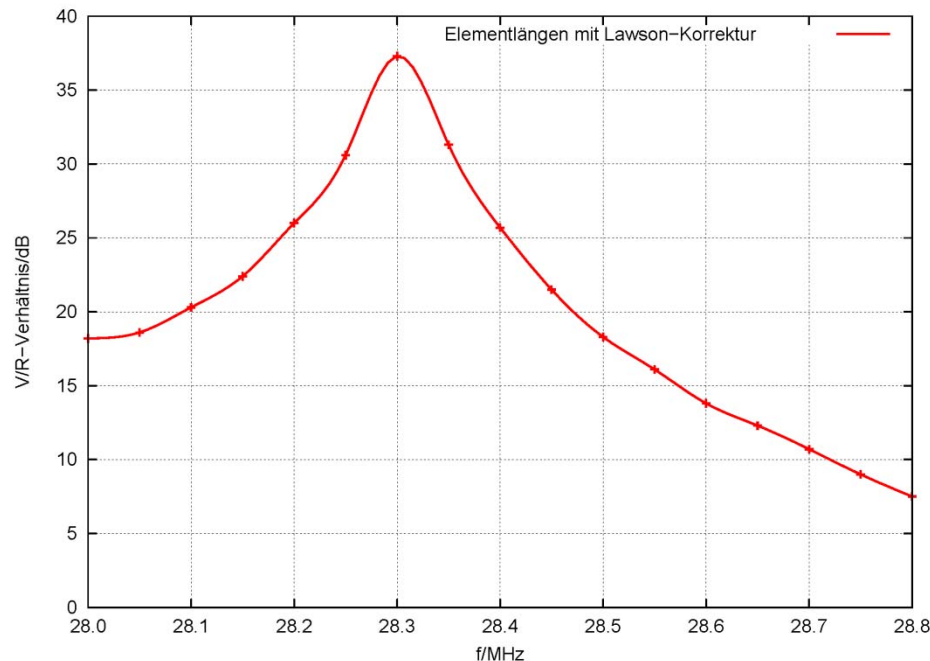
- Der K3 erlaubt genaue relative HF-Pegelmessungen
- Nutzung der AFV- und dBV-Anzeige [5]
- Voraussetzung: stabiles Signal, z.B. Träger auf der Bodenwelle
- Bei eingeschaltetem Vorverstärker im Pegelbereich -120...-60 dBm Linearitätsfehler kleiner $\pm 0,1$ dB [6]
- Entspricht -13...+47 dB μ V an 50 Ω bzw. etwa S1 bis S9^{+13dB}

Messprozedur:

1. Am K3 einstellen: Preamp **on**, AGC **off** (wichtig!)
2. Maximales HF-Eingangssignal suchen, z.B. in Vorwärtsrichtung der Messantenne
3. Trägerleistung des Testsignals so wählen, dass S-Meter etwa S9 anzeigt (damit ist Messbereich von -50...+10 dB verfügbar)
4. AFV-Anzeige einschalten
5. Warten, bis sich Anzeigewert stabilisiert hat (einige Sekunden)
6. dBV-Anzeige einschalten: die letzte über 1 s gemittelte NF-Spannung wird als 0-dB-Referenz gespeichert
7. Messungen vornehmen (z.B. Frequenz verändern oder Messantenne drehen) und dBV-Anzeigewert notieren

Abgleich

Schritt 3: Gemessener Frequenzgang des V/R-Verhältnisses



- V/R-Maximum 37 dB!
- V/R fällt oberhalb Entwurfsfrequenz stärker ab (Übereinstimmung mit [1])
- V/R-Maximum auf 28,3 MHz, also 260 kHz über Entwurfsfrequenz
- ➔ Elemente elektrisch zu kurz
- Ursache: Elementhalterungen

Abgleich

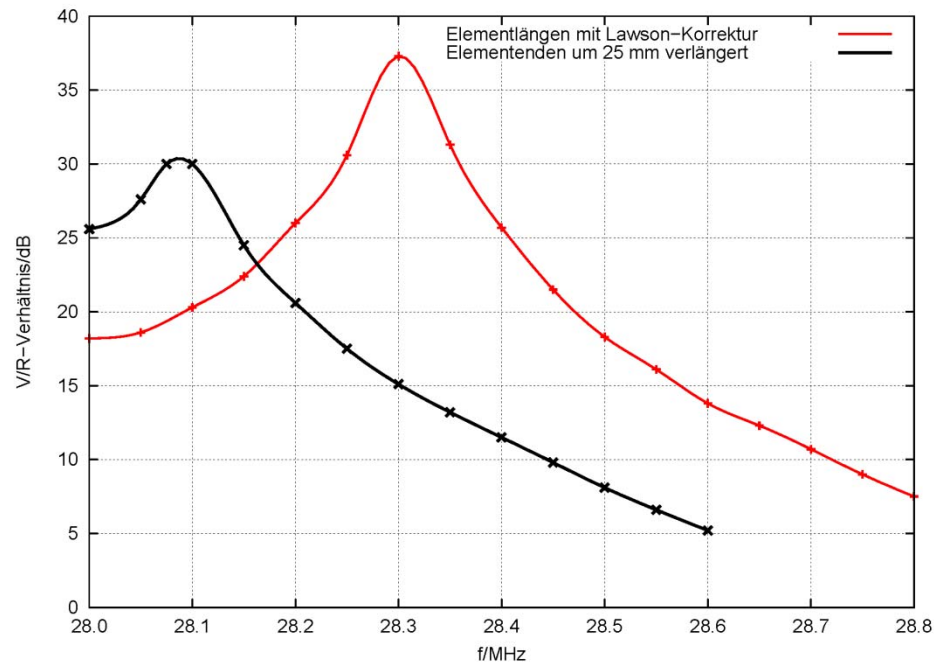
Schritt 4:

- Zusätzliche Verlängerung der Elemente, um partielle Verdickung durch Elementhalterung zu kompensieren
- Abschätzung: 25 mm (je Elementhälfte)

Element	Halbe Elementlänge aus NEC-2-Optimierung für $d = 20$ mm	Verlängerung je Elementhälfte nach [1] für Stufung 20/16	Halbe Elementlängen daraus	<u>Zusätzliche</u> Verlängerung je Elementhälfte (Abschätzung)	Halbe Elementlängen daraus
REF	2704 mm	36 mm	2740 mm	25 mm	2765 mm
DE	2532 mm	33 mm	2565 mm	25 mm	2590 mm
DIR1	2479 mm	32 mm	2511 mm	25 mm	2536 mm
DIR2	2389 mm	30 mm	2419 mm	25 mm	2444 mm

Abgleich

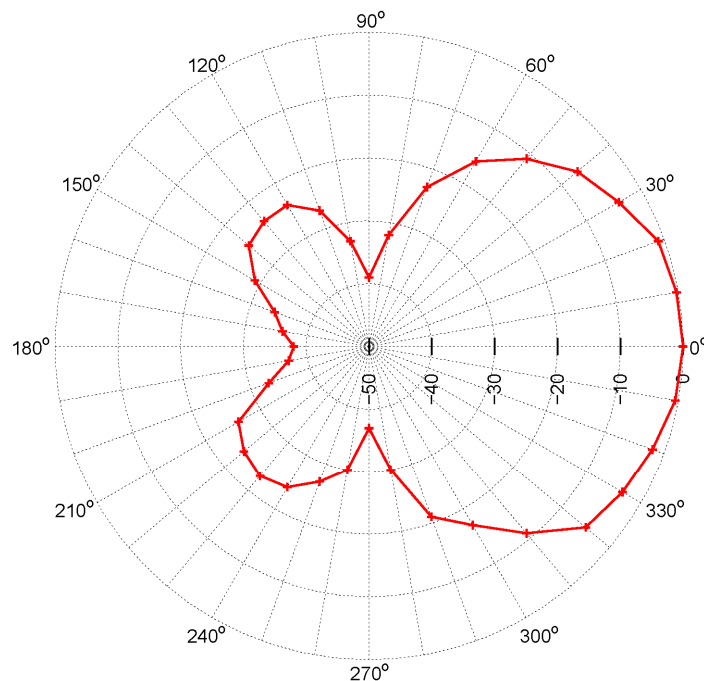
Schritt 4: Gemessener Frequenzgang des V/R-Verhältnisses



- Nach zusätzlicher Verlängerung:
- V/R-Maximum 31 dB auf 28,09 MHz
- V/R > 25 dB im gesamten CW-Bereich

Abgleich

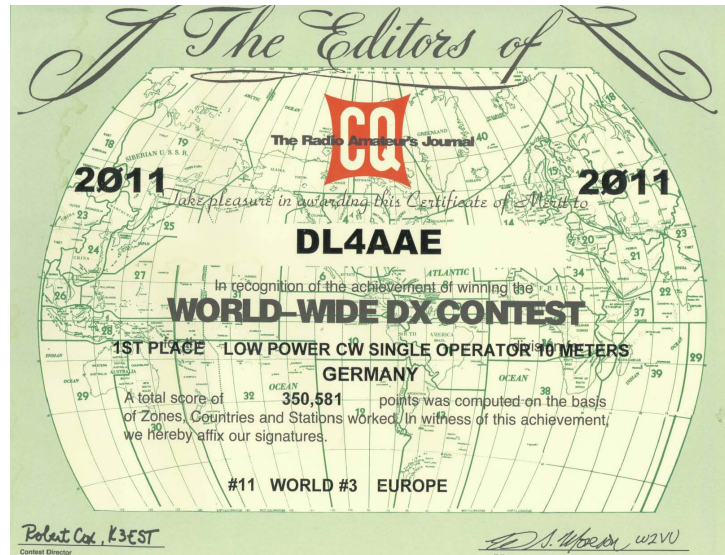
Schritt 4: Gemessenes horizontales Strahlungsdiagramm



- Auf 28,3 MHz (vor Element-Verlängerung)
- V/R 37 dB
- Nebenzipfel-Dämpfung 24 dB
- Sehr gute Symmetrie
- Gute Übereinstimmung mit NEC-2-Rechnung
- Beleg für:
 - Messungen auf Bodenwelle zulässig
 - Gamma-Anpassung symmetriert einwandfrei
 - Antenne hat genau die berechnete Richtcharakteristik!

Betriebserfahrungen

- Erster Aufbau und Betrieb der Antenne im CQWW-CW-Contest 2011
- Teilnehmerklasse „Single-Operator/Single-Band-Low-Power“ (100 W)
- Gute CONDX: SFI=130, ruhiges Erdmagnetfeld
- ➔ Weltweiter Funkbetrieb möglich, hohes Stationsangebot
- Ergebnis: 991 QSO's, 33 CQ-Zonen, 124 DX-Entities

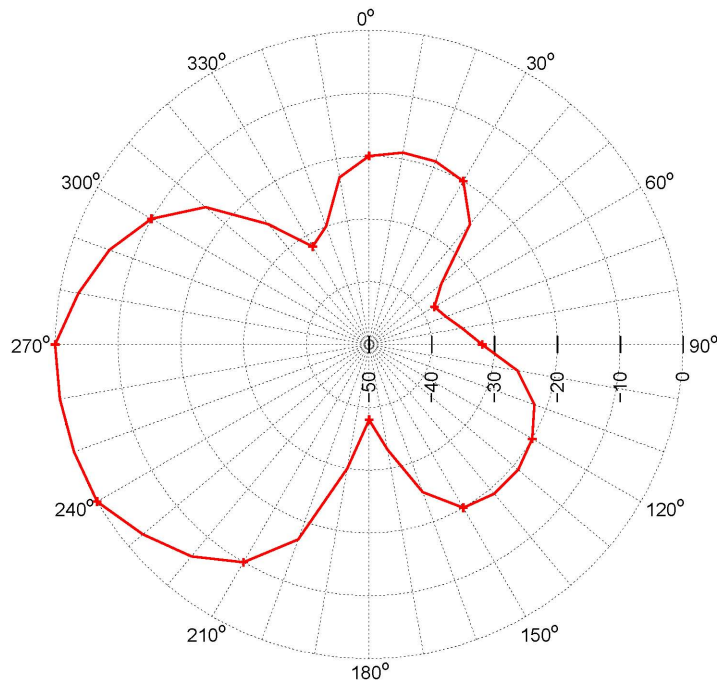


Betriebserfahrungen

- Zweiter Einsatz der Antenne im CQWW-CW-Contest 2012
- Teilnehmerklasse „Single-Operator/Single-Band-Low-Power“ (100 W)
- CONDX: am Samstag Magnetsturm (K-Index 4)
- ➔ praktisch Ausfall aller nördlichen Linien
- ➔ nur einen JA und wenige W's gearbeitet, alle auf „skewed paths“
- CONDX am Sonntag besser
- Ergebnis: 752 QSO's, 33 CQ-Zonen, 109 DX-Entities

Betriebserfahrungen

Strahlungsdiagramm, aufgenommen anhand „Bake“ CR3L



- Am 25.11.2012 um 1210 UTC auf 28053 kHz
- Relativ stabiles Signal mit S9+20dB, viel „CQ“
- Messung alle 30° mit S-Meter von K3
- V/R $\approx$ 38 dB
- Nebenzipfel-Dämpfung $\approx$ 20 dB
- Gute Übereinstimmung mit Messung auf Bodenwelle und mit NEC-2-Rechnung!

Zusammenfassung

- 4-Element-Yagi für 28 MHz und 6-m-Boom optimiert (Basis PV4-Design)
- Antenne gemeinsam im OV Stromberg (P51) aufgebaut
- Messergebnisse bestätigen Entwurfsergebnisse
- Erfolgreicher Einsatz in den CQWW-CW-Contests 2011 und 2012

**Tolles Teamwork
-
es hat Spaß gemacht!**

Literatur

- [1] American Radio Relay League: „The ARRL Antenna Book“, 15th Edition, Newington, CT, 1988
- [2] Homepage „The unofficial Numerical Electromagnetic Code (NEC) Archives“: <http://www.si-list.net/swindex.html>
- [3] Alois Krischke, DJ0TR: „Rothammels Antennenbuch“, 12. Auflage, DARC-Verlag GmbH, Baunatal 2002
- [4] Günter Schwarzbeck, DL1BU: „Streifzug durch den Antennenwald: A. Selbstbau von Yagi-Antennen“, CQ DL 12/79, S. 545-548
- [5] W.Burdick, E.Swartz: „Elecraft K3 Owner's Manual“, Elecraft Inc., Aptos, CA, August 2011, <http://www.elecraft.com>
- [6] J.Smith, K8ZOA: „Elecraft's Noise Blanker and Crystal/DSP Filtering“, Clifton Laboratories, Clifton, VA, 23.08.2008, <http://www.cliftonlaboratories.com>



gd dx auf 10!