

Funkstörungen durch eine PV-Anlage mit Power Optimizern von SolarEdge

1. Art der Störungen

12.7.2020

Die Störungen

- wurden erstmals festgestellt im Sommer 2019 und erstmals dokumentiert am 23.8.2019,
- bauen sich bei Tagesanbruch intermittierend auf, bleiben tagsüber ziemlich konstant (mehr oder weniger unabhängig von der Sonneneinstrahlung) und verschwinden intermittierend nach Sonnenuntergang,
- sind im Bereich von 1...80MHz mit unterschiedlichen Pegeln feststellbar,
- haben einen Abstand von 200kHz.

2. Messungen vom 9.7.2020, nachmittags, sonnig mit leichten Schleierwolken

- Die Messungen wurden durchgeführt mit einem HERMES Kurzwellenempfänger (Software Defined Radio, 16Bit), dessen Pegelanzeige mit einem Signalgenerator Hewlett Packard HP8657A geeicht wurde.
- Zur Anzeige des Spektrums wurde die Software SDR Console v3.0.23 benutzt mit folgenden Einstellungen: Main Att = OFF, Radio Config > Visual Gain = -6dB (zwecks Eichung), CW, Bandbreite 1kHz.
- Antenne: DX-88 (8-Band Vertikalantenne auf dem Dach in 8.5m Höhe, 2 abgestimmte Radials pro Band).

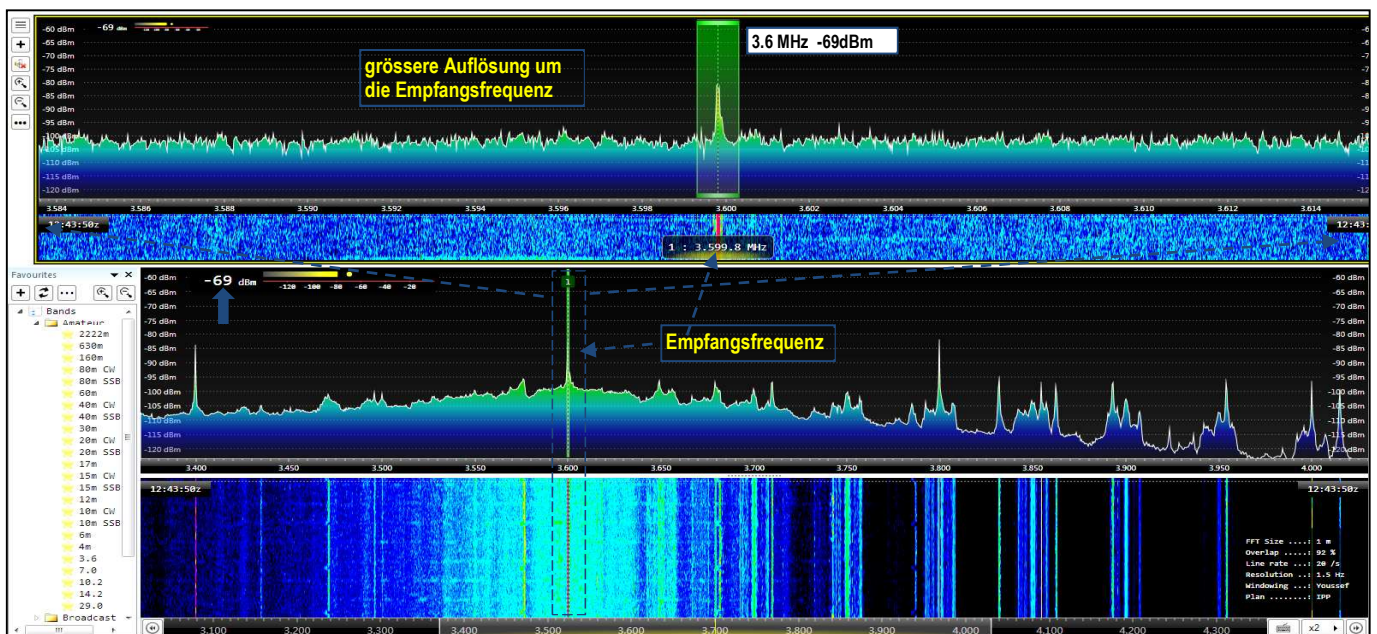


Bild 1: Spektrum im 80m Amateurfunk-Band

Die Störungen treten teilweise alle 50kHz auf und haben zudem einen etwa ± 15 kHz breiten Rauschsockel.

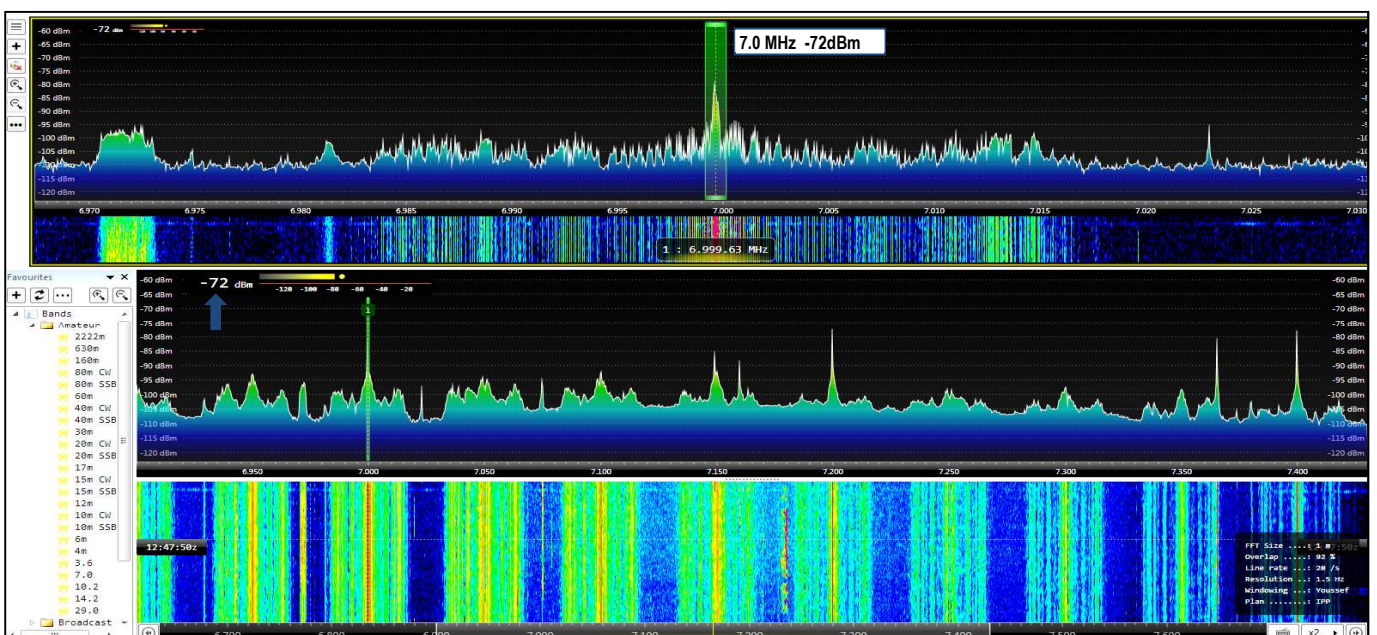


Bild 2: Spektrum im 40m Amateurfunk-Band

Die Störungen treten teilweise alle 50kHz auf und haben zudem einen etwa ± 15 kHz breiten Rauschsockel.

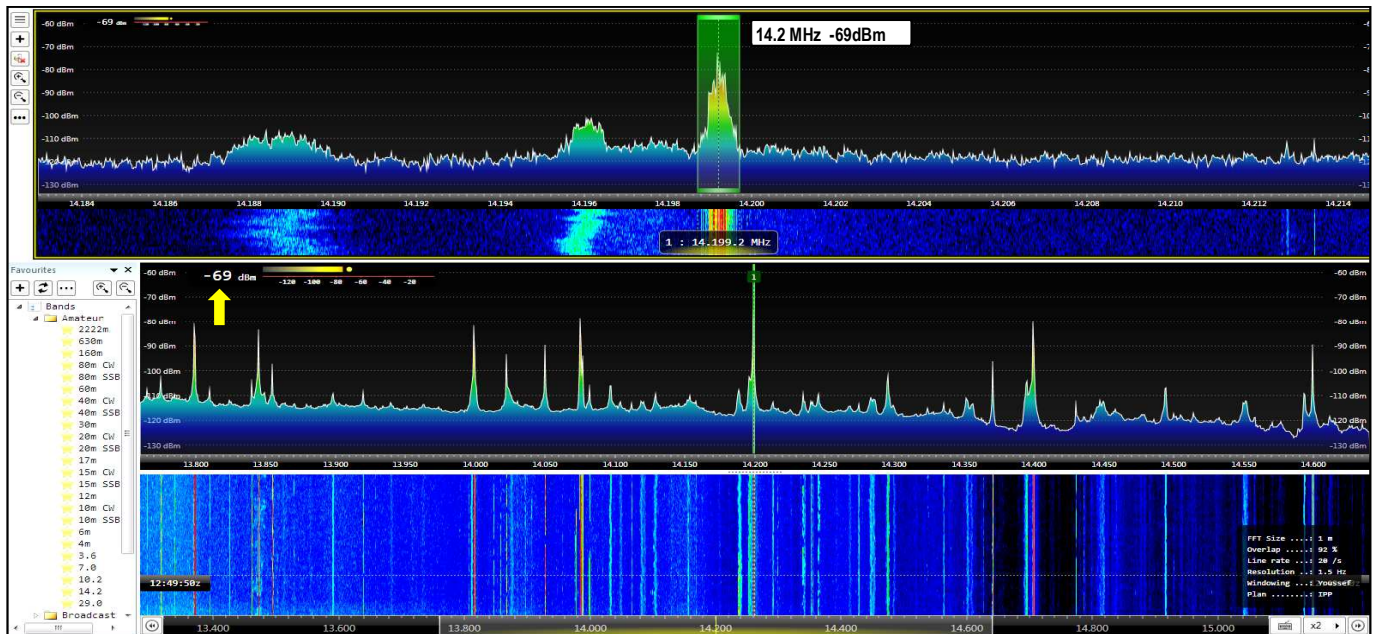


Bild 3: Spektrum im 20m Amateurfunk-Band

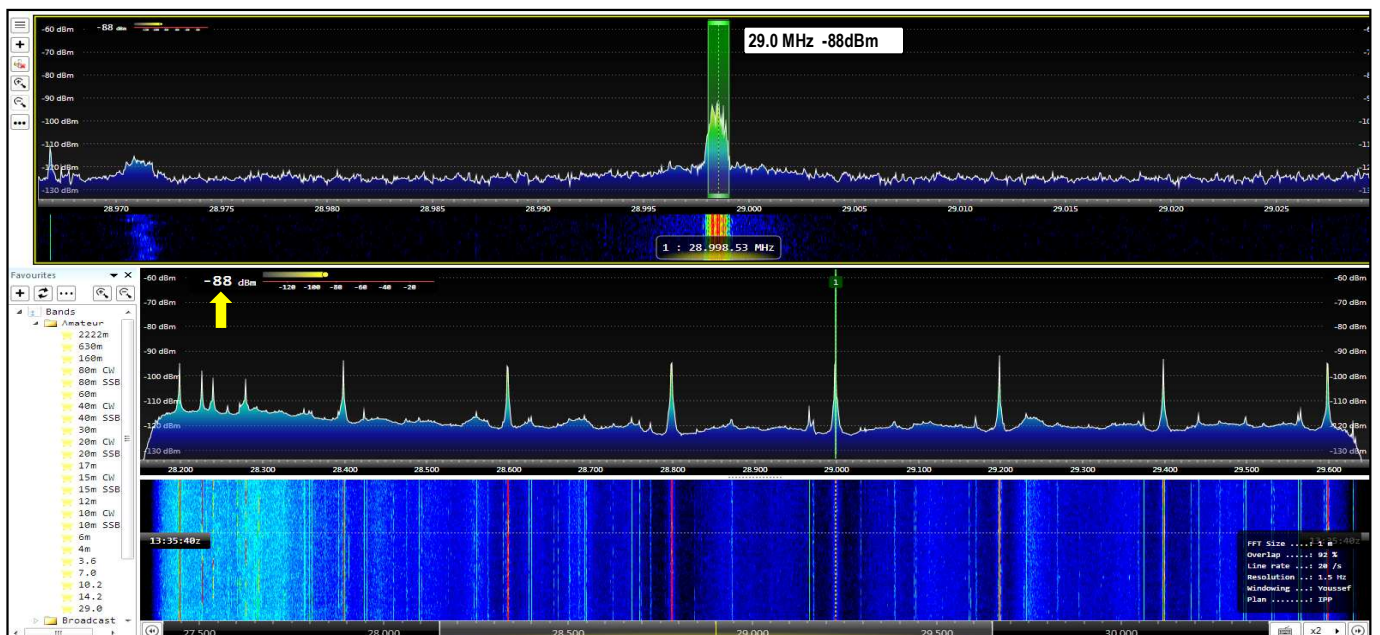


Bild 4: Spektrum im 10m Amateurfunk-Band
(Die Bandbreite des Empfängers ist auf 1.5MHz begrenzt, deshalb flacht das Spektrum an den Enden ab)

Anmerkungen zu Bild 1 bis 4:

- Die untere Hälfte zeigt den jeweiligen Frequenzbereich eines Amateurfunk-Bandes, die obere Hälfte zeigt den Frequenzbereich ober- und unterhalb der Empfangsfrequenz in grösserer Auflösung.
- Die Zeitmarker sind in UTC.
- Die Pegel sind Mittelwerte, sie schwanken um bis zu $\pm 3\text{dB}$.
- Die Störungen haben generell einen Abstand von 200kHz, bei 3.6 und bei 7MHz treten sie teilweise alle 50kHz auf und sind mit einem Rauschsockel versehen.
- Um sicher zu stellen, dass keine Intermodulationsstörungen auftreten, wurde jeweils ein Linearitätstest gemacht, indem am Antenneneingang eine Dämpfung von 10dB eingefügt wurde: Die Pegel sanken dabei, wie erforderlich, um 10dB.

3. Ortung der Störquelle

Mit einem für diesen Zweck eigens gebauten Peiler konnte im Mai 2020 die Quelle der Störungen auf ein Haus in der Nachbarschaft eingegrenzt werden. Auf der Westseite des Daches wurde im Sommer 2019 eine neue Photovoltaik-Anlage eingebaut.

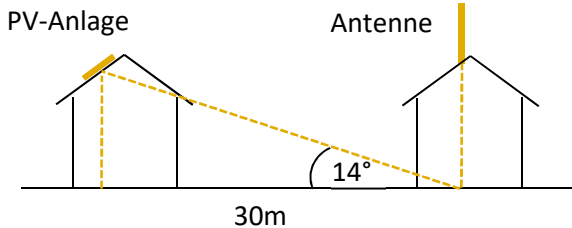


Bild 5a: Situationsplan, Elevation

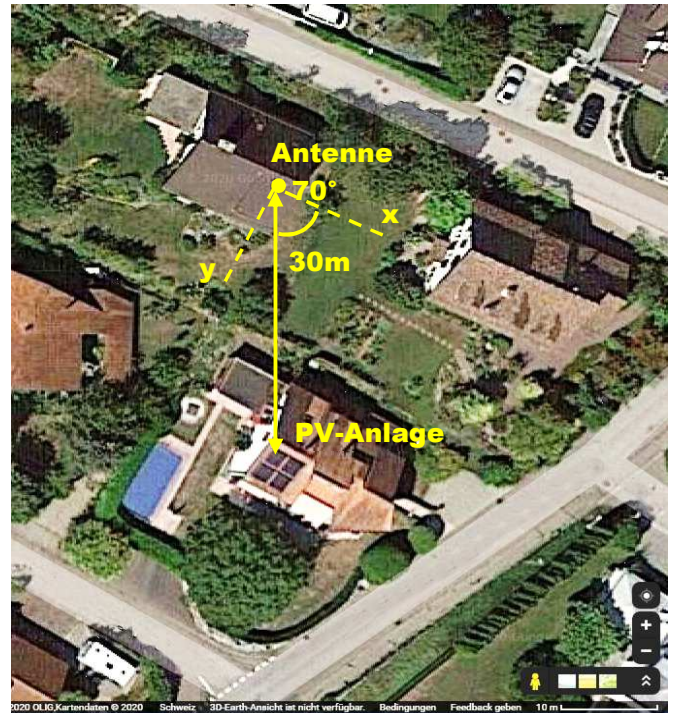


Bild 5b: Situationsplan, Distanz und Azimut

4. Zulässige Störfeldstärken

Das Electronic Communications Committee (ECC) der CEPT legt im Annex 1 der Recommendation (09)02 die im Frequenzbereich von 9kHz bis 3GHz in 3m Abstand zulässigen Störfeldstärken fest, siehe Bild 6.

Für die Frequenzen in Bild 1 bis 4 gelten demzufolge folgende Grenzwerte:

- 3.6MHz: $E_{3m} = 35.1 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
- 7.0MHz: $E_{3m} = 32.5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
- 14.2MHz: $E_{3m} = 29.8 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
- 29.0MHz: $E_{3m} = 27.1 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

Frequency range (MHz)	Disturbance field strength limit (Peak values in (dB($\mu\text{V/m}$)))	Measurement distance	Measuring bandwidth
0,009 to 0,15	40 - 20*log (f/MHz)	3 m	200 Hz
0,15 to 1	40 - 20*log (f/MHz)	3 m	9 kHz
1 to 30	40 - 8.8*log (f/MHz)	3 m	9 kHz
30 to 1000	27 γ^2	3 m	120 kHz
1000 to 3000	40 γ^3	3 m	1 MHz

γ^2 This corresponds to an equivalent effective radiated RF power of 20 dB(pW).
 γ^3 This corresponds to an equivalent effective radiated RF power of 33 dB(pW).

Bild 6: Zulässige Störfeldstärken gemäss ECC Rec (09)02 [1]

5. Bestimmung der in 3m Abstand von der Störquelle vorherrschenden Feldstärke

Um mit den obenannten Grenzwerten vergleichen zu können, müssen aus den an der Antenne gemessenen Störpegeln die entsprechenden Feldstärken in 3m Abstand von der Störquelle ermittelt werden. Dr H. Häberlin, Fachspezialist für EMV Fragen der USKA (Union Schweizerischer Kurzwellen-Amateure), zeigt in [2] die mathematischen Zusammenhänge auf:

Zunächst wird aus dem Empfangspegel P_E die Spannung U_E am Empfängereingang (50 Ohm) berechnet:

$$U_E [\text{dB}\mu\text{V}] = P_E + 107 \text{ dB}\mu\text{V} \quad (1)$$

Die Antenne wandelt die an ihr einfallende Feldstärke der Störquelle in die Spannung am Empfängereingang um. Der entsprechende Antennenfaktor AF_E ist von Antenne zu Antenne verschieden und muss individuell bestimmt werden:

$$AF_E [\text{dB}] = 20 \cdot \log(9.73/\lambda \cdot \sqrt{G_{\text{iso}}}) = 19.8 - 20 \cdot \log \lambda - 0.5 \cdot G_{\text{iso}} [\text{dB}] \quad (2)$$

wobei λ = Wellenlänge

G_{iso} = Gewinn der Antenne gegenüber einem isotropen Strahler

G_{iso} der auf dem Dach stehenden Antenne des betroffenen Funkamateurs wurde ermittelt, siehe Anhang:

- 3.6MHz: $G_{\text{iso}} = 0 \text{ dB}$
- 7.0MHz: $G_{\text{iso}} = -2.4 \text{ dB}$
- 14.2MHz: $G_{\text{iso}} = -1.4 \text{ dB}$
- 29.0MHz: $G_{\text{iso}} = -0.3 \text{ dB}$

Damit ergeben sich folgende Antennenfaktoren:

3.6MHz	$AF_E = -18.6\text{dB}$
7.0MHz:	$AF_E = -11.6\text{dB}$
14.2MHz:	$AF_E = -6.0\text{dB}$
29.0MHz:	$AF_E = -0.3\text{dB}$

Die Antenne ist mit dem Empfänger über ein Koaxialkabel und diverse Stecker verbunden, deren Dämpfung total ca 2dB beträgt. Das am Empfänger ankommende Signal wird also um $D = 2\text{dB}$ geschwächt.

Damit ergibt sich:

$$E_{30m}[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = U_E + AF_E + D \quad (3)$$

Nun muss noch die Feldstärke in 3m Abstand vom Störer berechnet werden. Die Antenne steht in 30m Distanz zur Störquelle. Es gilt:

$$E_{3m}[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = E_{30m} + 20 \cdot \log(30\text{m}/3\text{m}) = E_{30m} + 20 \quad (4)$$

Tabelle 1 zeigt die sich damit ergebenden Störfeldstärken in 3m Abstand:

	3.6MHz	7.0MHz	14.2MHz	29.0MHz	gemäss
P_E = Störpegel am Empfängereingang	-69dBm	-72dBm	-69dBm	-88dBm	
U_E = Störspannung am Empfängereingang	38dB μ V	35dB μ V	38dB μ V	19dB μ V	(1)
AF_E = Antennenfaktor	-18.6dB	-11.6dB	-6.0dB	-0.3dB	(2)
D = Kabeldämpfung	2dB	2dB	2dB	2dB	
E_{30m} = Störfeldstärke an der Antenne	21.4dB μ V/m	25.4dB μ V/m	34.0dB μ V/m	20.7dB μ V/m	(3)
E_{3m} = Störfeldstärke in 3m Abstand	41.4dBμV/m	45.4dBμV/m	54.0dBμV/m	40.7dBμV/m	(4)

Tabelle 1: Berechnete Störfeldstärken in 3m Abstand vom Störer

Zum Vergleich:

E_{3m} = zulässiger Grenzwert gemäss ECC	35.1dBμV/m	32.5dBμV/m	29.8dBμV/m	27.1dBμV/m
P_E = entsprechender, zulässiger Störpegel am Empfängereingang	-75.3dBm	-84.9dBm	-93.2dBm	-101.6dBm

6. Beurteilung

- **Die Grenzwerte werden auf allen Frequenzen klar überschritten**
- Die gemessenen Störpegel am Empfängereingang sind Mittelwerte; sie können um ca $\pm 3\text{dB}$ schwanken. Somit sind auch die Störfeldstärken E_{3m} Mittelwerte, die um denselben Betrag schwanken können.
- Dass die Störungen nur bei Tageslicht erscheinen und einen Abstand von 200kHz haben, weist auf Power Optimizer der Firma SolarEdge hin. Die Firma kennt das Problem seit längerer Zeit und hat mittlerweile ein Merkblatt für die Entstörung erstellt [4].

Literatur:

- [1] <https://www.ecodocdb.dk/download/15bf8059-cf36/REC0902.PDF>
- [2] <https://www.uska.ch/wp-content/uploads/2018/06/Zunehmende-Empfangsst%C3%B6rungen-bei-KW-Amateurstationen-durch-neue-Technologien.HB9AZO.pdf>
- [3] <https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/c/ortsverbaende/19/4NEC2-Vortrag-Handout--DD0CN.pdf>
- [4] RFI Guide "Hinzufügen von Ferritklemmen", SolarEdge, 12.11.2019

Anhang: Ermittlung des Antennengewinns gegenüber einem isotropen Strahler

Um den Antennengewinn in Richtung der Störquelle zu ermitteln, wurde die Antenne mit dem bekannten Antennen-Simulationsprogramm 4NEC2 [3] modelliert.

Die Richtung von der Antenne zur Störquelle beträgt 160° , siehe Situationsplan Bild 5b.

Die Distanz zwischen Antenne und Störquelle beträgt 30m; die Mitte der Störquelle liegt ca 7.5m über dem Nullpunkt der Richtdiagramme, was einer Elevation von 76° entspricht, siehe Situationsplan Bild 5a.

Die Simulation mit 4NEC2 ergab folgende Richtdiagramme und Antennengewinne G_{iso}

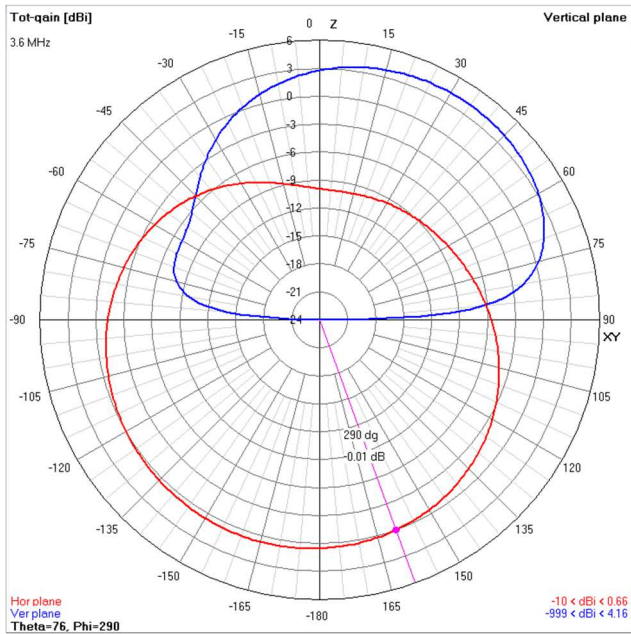


Fig 1: 3.6MHz, $G_{iso} = 0\text{dB}$

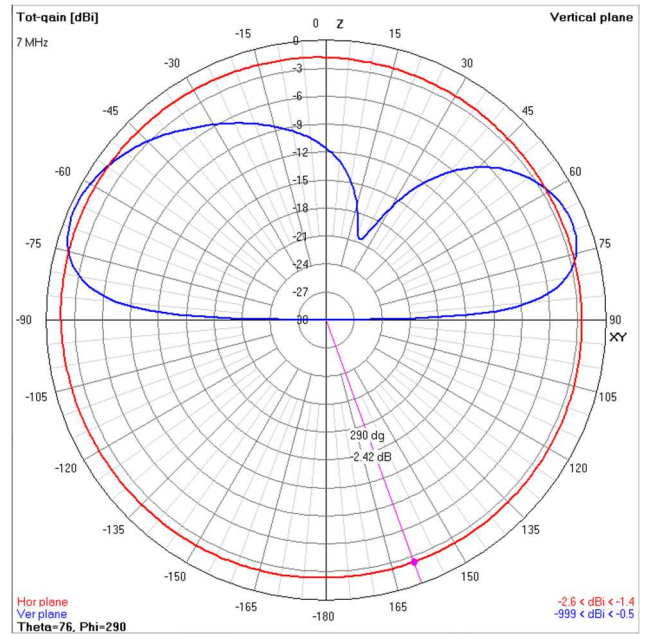


Fig 2: 7.0MHz, $G_{iso} = -2.4\text{dB}$

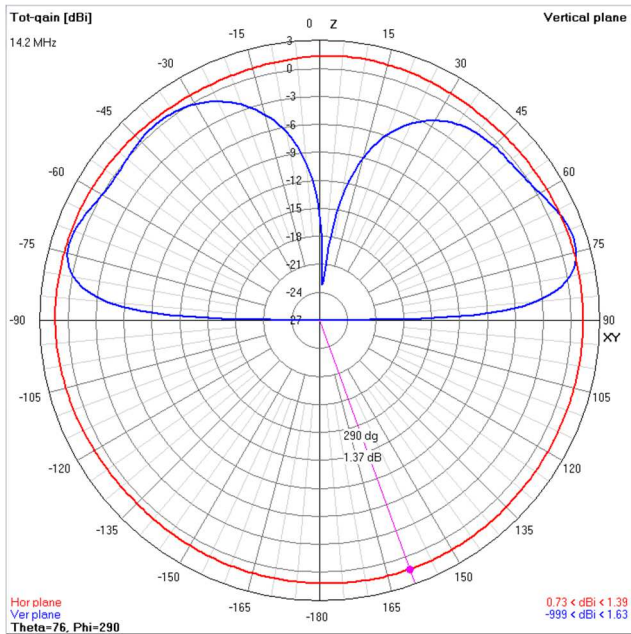


Fig 3: 14.2MHz, $G_{iso} = -1.4\text{dB}$

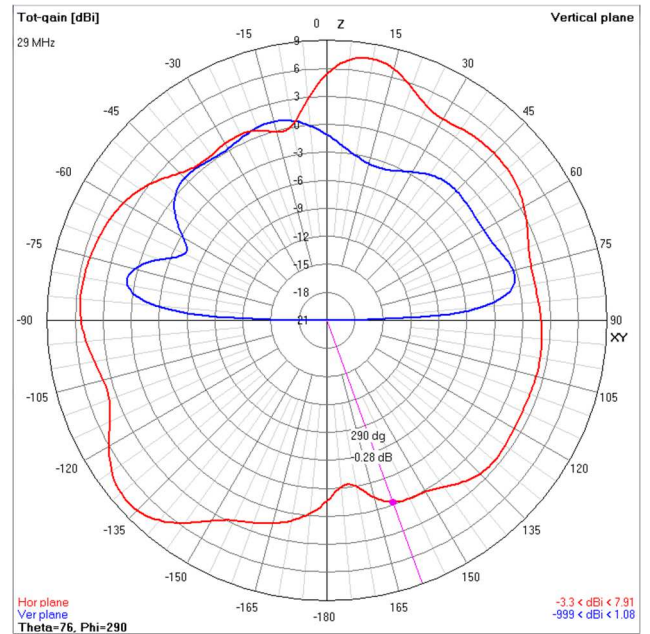


Fig 4: 29MHz, $G_{iso} = -0.3\text{dB}$