

Versuche mit Antennen für LoRa auf 868 MHz

Wilhelm, DL6DCA Vers. 2.0 20.02.2021

-Zwei weitere Antennen-



Stummelantenne (zum Gerät geliefert)

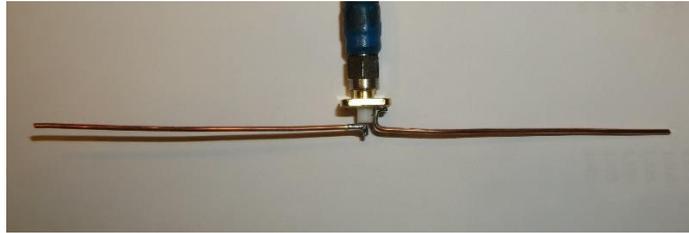
Einige Mitglieder unseres Ortverbandes beschäftigen sich in der letzten Zeit mit LoRa (Low-Range). Es handelt sich um ein kommerzielles Verfahren zur Erfassung von Messdaten und deren Weiterleitung über RX/TX Module mit recht kleiner Leistung. Wer sich informieren möchte, sucht einfach mal im Internet nach LoRa oder LoRaWan. Eine gute Erklärung findet man z.B. unter <https://www.linemetrics.com/de/lora-und-lorawan-einfach-erklart/>. Neben der Frequenz um 868 MHz herum gibt es noch eine zweite um 433 MHz. Beide Frequenzbereiche können auch für Anwendungen des Amateurfunks interessant sein, als Beispiel mag APRS dienen.

Von allen die dort experimentieren wurde berichtet, dass die Signale häufig sehr schwach sind und somit Datenpakete verloren gehen. Die preiswerten Baugruppen aus China haben häufig nur eine sehr kurze Stummelantenne. Das wird bei den kommerziell eingesetzten Anlagen (z.B. bei Stadtwerke, Gelsenwasser etc.) anders sein. Für mich war es aber Grund genug, sich einmal mit Antennen für diesen Frequenzbereich auseinanderzusetzen.

Die Polarisation der eingesetzten Antennen ist vertikal. Wenn man gegenüber den kurzen Stummelantennen einen größeren Empfangsgewinn haben will, kommt man nicht umhin anstelle der als Spule aufgewickelten Stummelantenne mit geraden / gestreckten Antennen mit größerer Wirkfläche zu arbeiten. Ein Gewinn bei vertikalen Antennen ist nur zu erzielen, wenn das vertikale Strahlungsverhalten in der Horizontalen gebündelt wird. Sie sollten auf die Systemimpedanz von 50Ω ausgelegt und im gewünschten Frequenzbereich resonant sein.

Ich habe mehrere Konstruktionen aufgebaut und dann gegeneinander empfangsmäßig verglichen. Als erstes erfolgt eine Vorstellung der Antennen mit Messergebnissen und ggfs. Aufbauhinweisen und danach die Ergebnisse des Feldvergleichs mit Angaben zur vorgenommenen Vergleichsmessung.

Antenne #1: gestreckter Dipol (vertikal)



An einer SMA-Buchse wurde ein $\lambda/2$ Dipol (2 x 83 mm) aufgebaut. Material 1,3 mm Kupferdraht und SMA-Flanschbuchse.

Die Länge der Elemente errechnet sich wie folgt und gilt auch für die weiter vorgestellten Antennentypen:

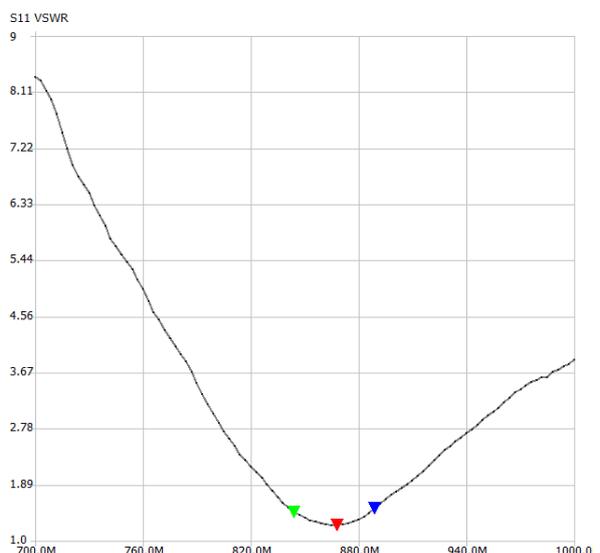
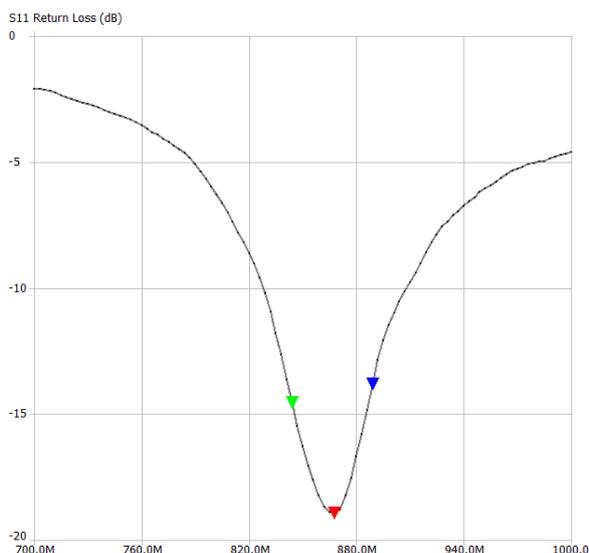
$$300.000 \text{ (Lichtgeschwindigkeit) / F(MHz)} = \lambda \text{ (Wellenlänge mm)}$$

$$300.000 / 868 = 345,62$$

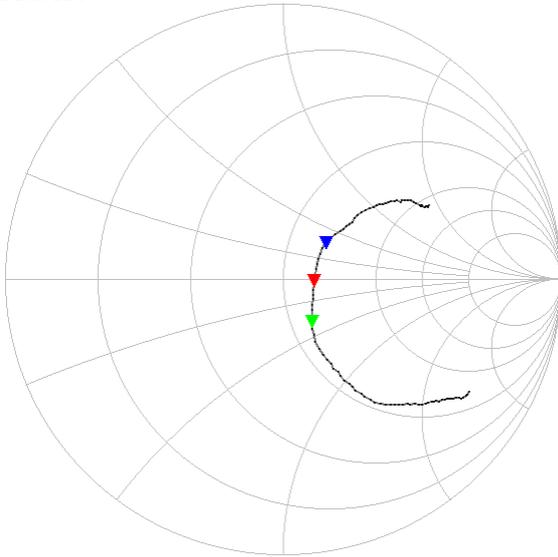
Bedingt durch die Geometrie sowie Anomalien in der Oberfläche von Metallen und sonstigen Umgebungseinflüssen ist dieser Wert um 4% zu kürzen. Es handelt sich hier um einen Erfahrungswert, der bei Antennenelementen mit Durchmesser bis ca. 12 mm sicher anwendbar ist.

$$\text{Somit } 300.000 / 868 = 345,62 \times 0,96 = \underline{\underline{331,80}} \text{ mm} \quad \lambda/2 = 165,90 \text{ mm} \quad \lambda/4 = 82,94 \text{ mm}$$

Die Dipole habe ich etwas länger gemacht und dann während der Messung auf Endmaß gebracht, was erstaunlicherweise exakt der Berechnung entsprach. Der Nachteil an dieser Dipolantenne ist allerdings, dass keine Impedanzanpassung und keine Symmetrierung (Antennendipole = symmetrisch, Koaxkabel = asymmetrisch) vorgenommen wurde. Bekannterweise haben offene Dipole ja eine Impedanz von ca. 60 - 74 Ω , die Systemimpedanz Kabel / Gerät ist 50 Ω . Diese geringe Diskrepanz wurde in Kauf genommen; man sieht es allerdings an der S11 Messung, wo trotz Abgleich kein VSWR von 1:1 erreicht werden kann.



S11 Smith Chart



Marker 1

Frequency: 868.000 MHz	VSWR: 1.255
Impedance: 62.7-j777m Ω	Return loss: -18.928 dB
Series L: -142.41 pH	Quality factor: 0.012
Series C: 236.08 pF	S11 Phase: -3.10°
Parallel R: 62.741 Ω	S21 Gain: -76.474 dB
Parallel X: 36.183 fF	S21 Phase: 113.22°

Marker 2

Frequency: 844.000 MHz	VSWR: 1.461
Impedance: 58.6-j18.8 Ω	Return loss: -14.550 dB
Series L: -3.5388 nH	Quality factor: 0.32
Series C: 10.048 pF	S11 Phase: -55.61°
Parallel R: 64.597 Ω	S21 Gain: -98.550 dB
Parallel X: 935.1 fF	S21 Phase: 139.20°

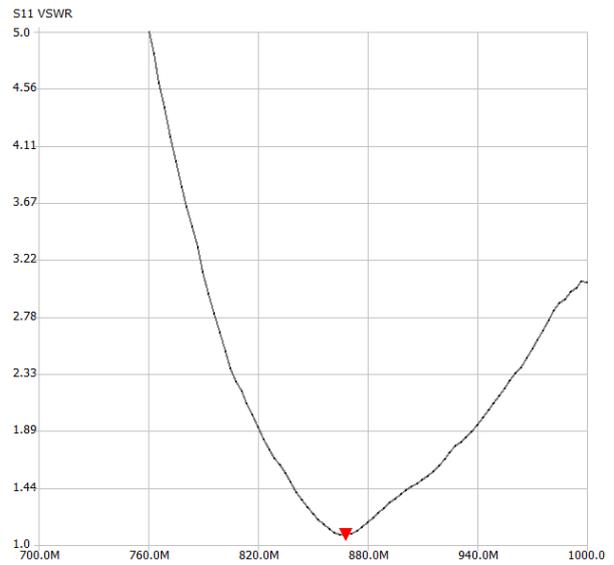
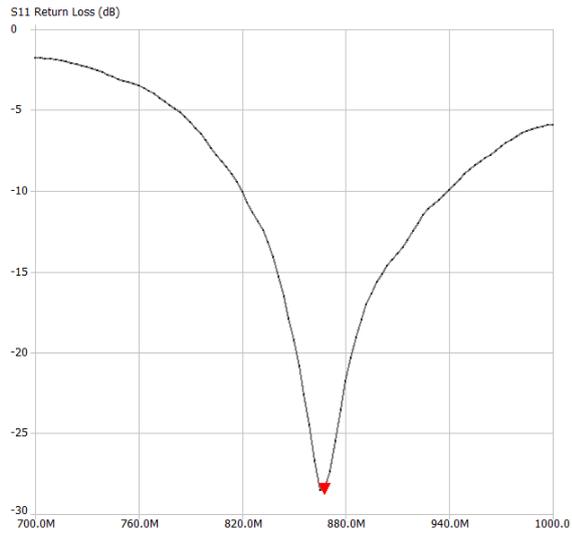
Marker 3

Frequency: 889.000 MHz	VSWR: 1.513
Impedance: 65.4+j18.2 Ω	Return loss: -13.806 dB
Series L: 3.2557 nH	Quality factor: 0.278
Series C: -9.8446 pF	S11 Phase: 40.76°
Parallel R: 70.472 Ω	S21 Gain: -79.533 dB
Parallel X: 45.383 nH	S21 Phase: 57.19°

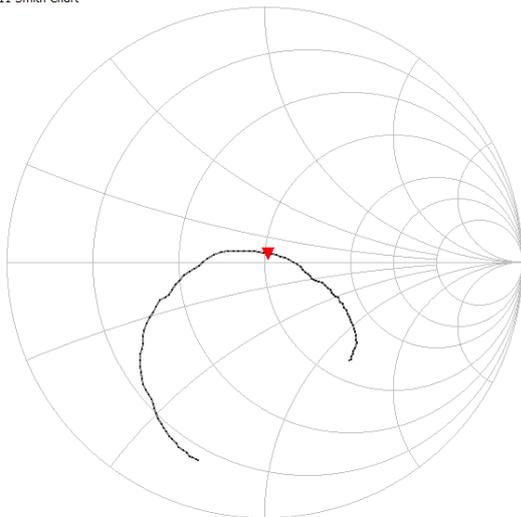
Antenne #2: $\lambda/4$ Groundplane



Auch hier sind die einzelnen Elemente 83mm nach Abgleich. Ansonsten Rechengang wie bei Antenne #1. Material 1,3 mm Kupferdraht und N-Flanschbuchse.



S11 Smith Chart



Marker 1

Frequency:	868.000 MHz	VSWR:	1.079
Impedance:	51.2+j3.64 Ω	Return loss:	-28.442 dB
Series L:	667.06 pH	Quality factor:	0.071
Series C:	-50.401 pF	S11 Phase:	69.64°
Parallel R:	51.461 Ω	S21 Gain:	-77.691 dB
Parallel X:	132.8 nH	S21 Phase:	75.67°

Marker 2

Antenne #3: J-Antenne



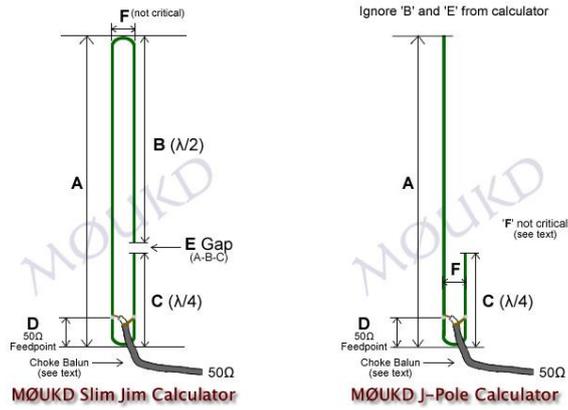
Nicht sehr schön, aber es funktioniert. Material ist 3,4 mm Kupferdraht und als Zuleitung zufällig übergebliebenes Semi-Regid Kabel mit SMA-Stecker aus einer Bastelkiste.

Bei der J-Antenne handelt es sich um einen $\lambda/2$ Strahler, der über eine $\lambda/4$ Schleife angepasst wird. Bei der Anpassschleife ist unten der 0Ω Punkt und oben theoretisch der $\infty \Omega$ Punkt; in der Realität sind es dort Material- und Umfeldbedingt ca. 2500Ω .

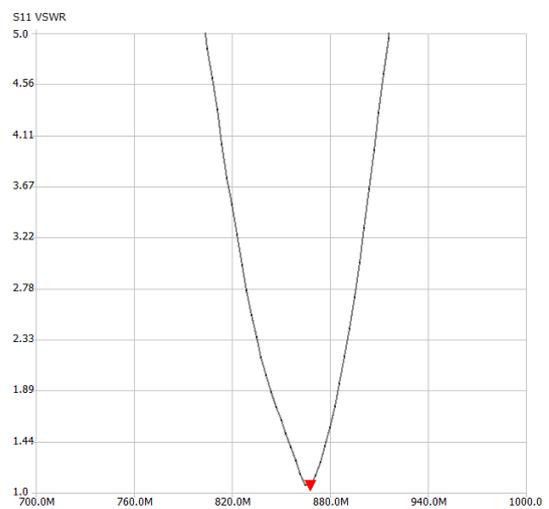
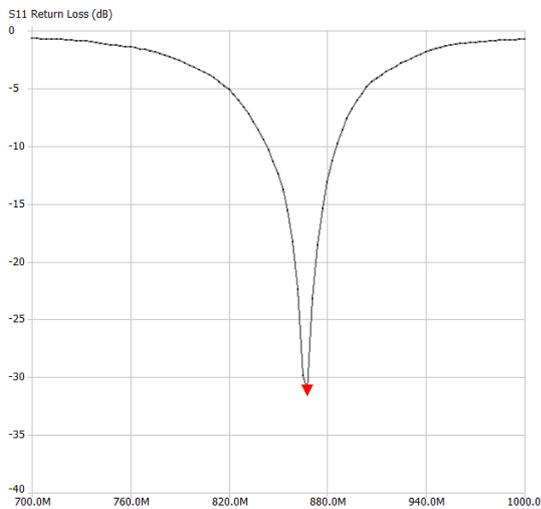
Zur Berechnung findet man zahlreiche Programme im Internet. Hier ein Beispiel von MOUKD, nach dessen berechneten Maßen ich aufgebaut habe:

<https://m0ukd.com/calculators/slim-jim-and-j-pole-calculator/>

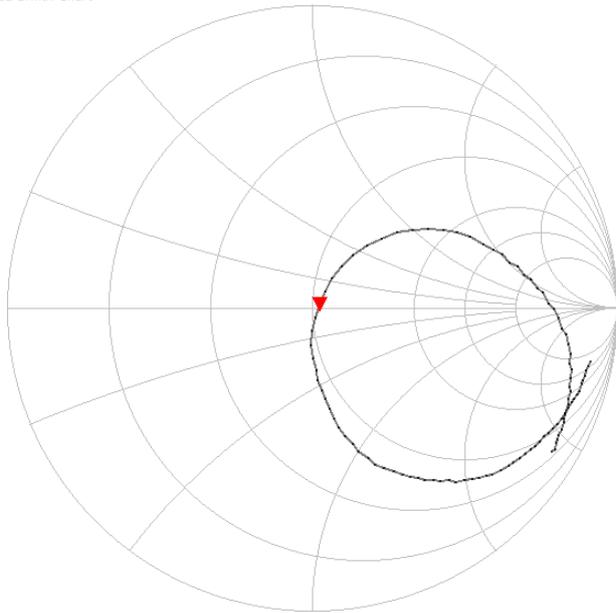
Slim Jim / J Pole antenna calculator.	
Frequency	868 MHz
Velocity Factor (see text*)	0.96 vf
<input type="button" value="Calculate my Slim Jim / J Pole!"/>	
Actual wavelength	0.35 metres
Wavelength considering velocity factor	0.33 metres
A. Overall length ($\lambda \cdot 0.75$) * vf (plus gap for Slim Jim)	24.9 cm (J Pole)
	25.2 cm (Slim Jim)
B. Half wave radiator section ($\lambda/2$) * vf	16.6 cm
C. Quarter wave matching section ($\lambda/4$) * vf	8.3 cm
D. 50 Ω Feed point. Adjust for 1:1 SWR. ($\lambda/40$) * vf	0.8 cm
E. Gap ($\lambda/100$)	0.3 cm
F. Spacing – not critical	0.8 cm
<input type="button" value="Clear Form"/>	



Den idealen Punkt der Koaxialkabeleinspeisung muss man selber durch probieren / messen optimieren indem man in 0,1 mm Schritten den Anschluss nach oben bzw. unten verschiebt; also zwischen 0 Ω und ca. 2500 Ω die angestrebten 50 Ω finden. Auch hier stimmen die berechneten mechanischen Maße exakt mit denen meiner aufgebauten Antenne nach Abgleich überein.



S11 Smith Chart



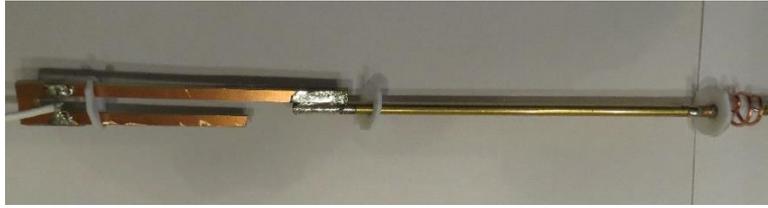
Marker 1		
Frequency:	868.000 MHz	VSWR: 1.057
Impedance:	52.6+j1.19 Ω	Return loss: -31.163 dB
Series L:	218.65 pH	Quality factor: 0.023
Series C:	-153.76 pF	S11 Phase: 24.18°
Parallel R:	52.602 Ω	S21 Gain: -79.066 dB
Parallel X:	425.24 nH	S21 Phase: -26.41°

Marker 2

Antenne #4: J-Antenne mit 4 x $\lambda/2$ Stockung

Achtung, der Bau dieser Antenne ist leider daneben gegangen, trotzdem wird sie beschrieben und zu einem späteren Zeitpunkt weiter daran gearbeitet!

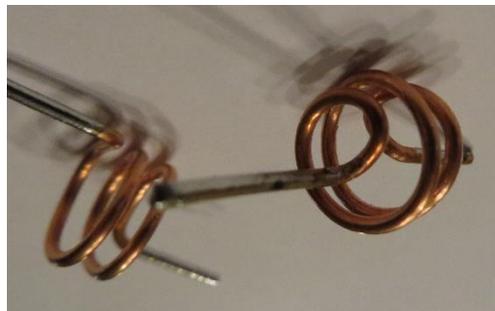




Die $\lambda/4$ Anpassschleife habe ich aus CU-beschichteter FP4 Platine hergestellt. Die Strahler sind aus 4 mm Messingrohr und die $\lambda/4$ Umwegleitung aus 1,3 mm Kupferdraht. Als Witterschutz habe ich ein 20 mm Kunststoffrohr genommen, wie man es für Kabelinstallationen in der Haustechnik verwendet. Um eine direkte Berührung der Antennenelemente und insbesondere der Umwegleitungen (spulenförmig aufgerollt) mit der Schutzhülle zu vermeiden sind Teflonscheiben angebracht, die jeweils mit einem Lötkecks in der Lage gesichert werden.



Zum Wickeln auf 9,5mm Dorn vorbereitet



Links nach dem Wickeln, rechts Lötbereich mittig gebogen

Bei der Stockung der J-Antenne wird jeweils durch eine $\lambda/4$ Umwegleitung die Leistung um 90° in der Phase gedreht (könnte man auch verzögert bezeichnen) in das nächste $\lambda/2$ Strahlerelement geleitet. Die Umwegleitung ist (entspr. Berechnung zu Ant. #1) 8,3 cm lang, mit jeweils 1cm Zugabe an den Enden um sie in die Strahlerröhrchen einlöten zu können. Als Wickelkörper habe ich einen 9,5mm dicken Kunststoffstift genommen und anschließend die (verlängerten) Enden zur Mitte gebogen. Die Dornstärke mit 9,5 mm ist nicht zwingend vorgegeben. Ich glaube, man kann die Umformschritte ausreichend auf den Detailfotos erkennen.

Die 4mm Strahlerröhrchen sind nur 150 mm lang ($\lambda/2$ wäre 165,9 mm), da hier die Umwegleitungen induktiv / kapazitiv für eine Verkürzung sorgen. War auch für mich eine neue Erkenntnis.

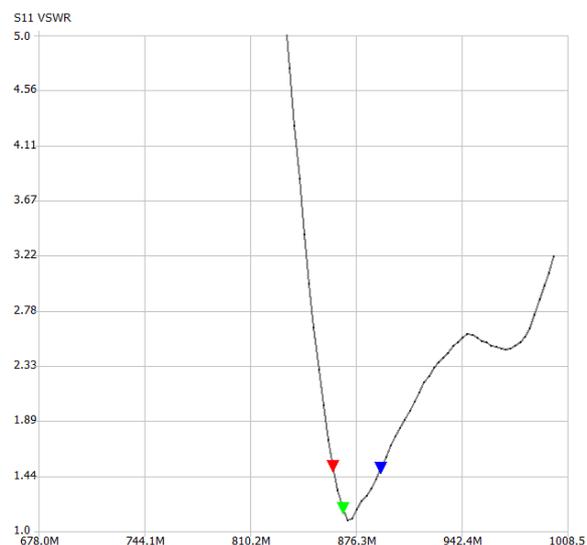
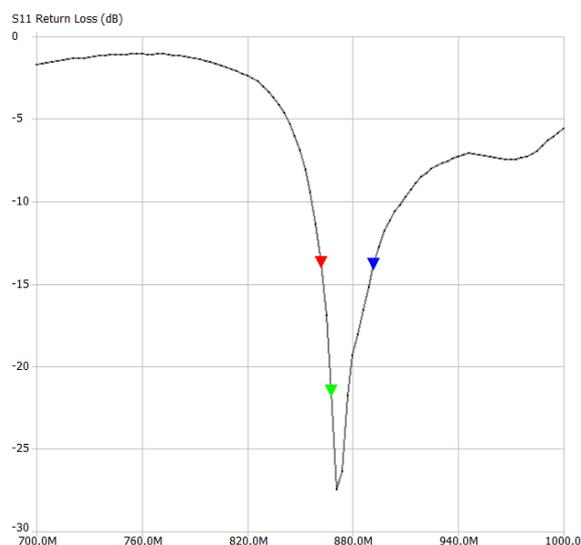
Beim Zusammenbau / Abgleich bin ich folgendermaßen vorgegangen:

Zuerst habe ich die J-Antenne ohne Erweiterung aufgebaut und abgeglichen (also richtigen Lötunkt für das Zuleitungs-Koaxkabel gesucht). Beim Aufstülpen des Wetterschutzrohres wird sich die Resonanzfrequenz nach unten verschieben. Das bedeutet, dass man jetzt noch einmal die Anpassung der Zuleitung iterativ verändern muss (0,1mm Schritte!).

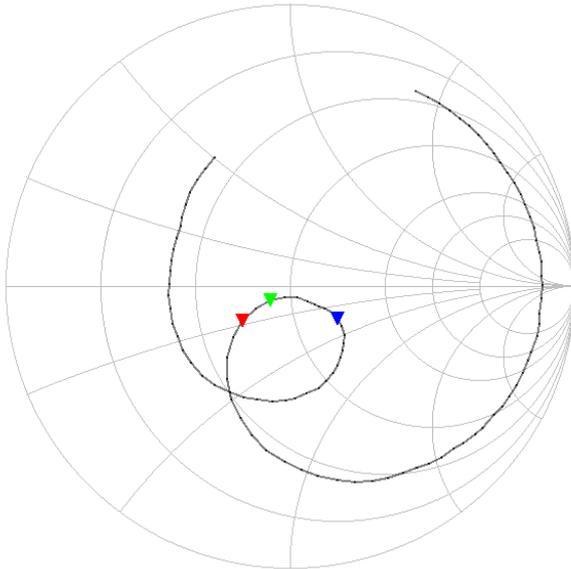
Danach wird die erste Umwegleitung (Spule) möglichst kurz und der erste $\lambda/2$ Strahler-Stab an die Basis angelötet und abgeglichen. Der Abgleich erfolgt durch entsprechendes herausziehen der Spule (deswegen die Verlängerung um ca. 1 cm beidseits) aus dem oben aufgesetzten Strahlerelement. Auch dann wieder Wetterschutz aufschieben und jetzt durch erneutes Verlängern des Strahlers durch Herausziehen der Umwegleitung / Spule neu auf Resonanz bringen. Veränderungen im 1mm Bereich! U.U. muss das Strahlerröhrchen entsprechend gekürzt werden. Man bekommt sehr schnell ein Gespür für die notwendige Verlängerung / Verkürzung.

So geht es Schritt für Schritt weiter, bis das alle Aufstockelemente angebracht sind. Bitte die Abstandhalter zum Wetterschutzrohr nicht vergessen!

Zum Schluss wird dann das Rohr oben wetterdicht verschlossen und unten eine Metallhalterung zur Mastbefestigung angebracht. Man kann auch ohne eine solche Halterung das Kunststoffrohr mit einer Klemme am Mast o.ä. befestigen, Das dürfte aber nicht sehr sturmfest sein. Wenn man diese Lösung aber anstrebt, bitte darauf achten, dass der untere Teil (Anpassglied) nicht in den Bereich der metallischen Halterung zu liegen kommt, da es sonst zu Verstimmungen kommt. Das Kunststoffrohr also entsprechend lang wählen und das Innenleben gegen Herausfallen sichern.



S11 Smith Chart



Marker 1

Frequency: 862.000 MHz	VSWR: 1.520
Impedance: 34.8-j8.94 Ω	Return loss: -13.703 dB
Series L: -1.6508 nH	Quality factor: 0.257
Series C: 20.65 pF	S11 Phase: -143.47°
Parallel R: 37.122 Ω	S21 Gain: -80.482 dB
Parallel X: 1.2769 pF	S21 Phase: -173.95°

Marker 2

Frequency: 868.000 MHz	VSWR: 1.184
Impedance: 43.4-j4.36 Ω	Return loss: -21.473 dB
Series L: -798.67 pH	Quality factor: 0.1
Series C: 42.095 pF	S11 Phase: -143.84°
Parallel R: 43.854 Ω	S21 Gain: -79.615 dB
Parallel X: 419.46 fF	S21 Phase: 175.31°

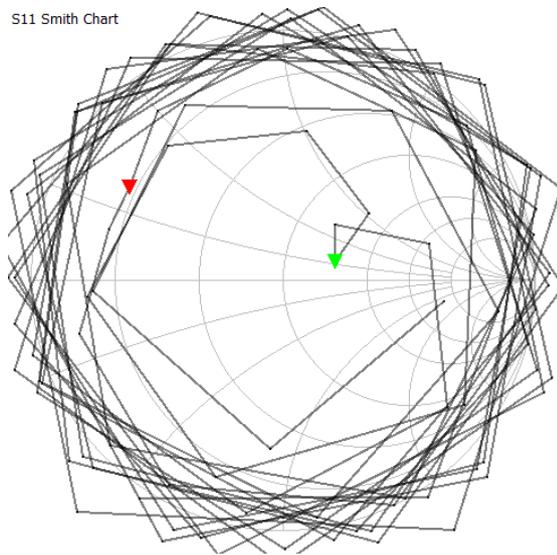
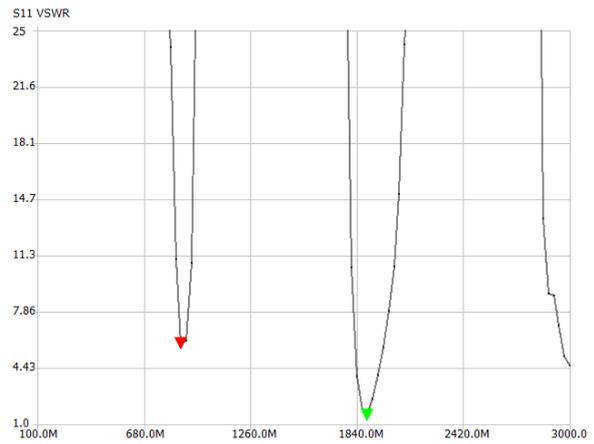
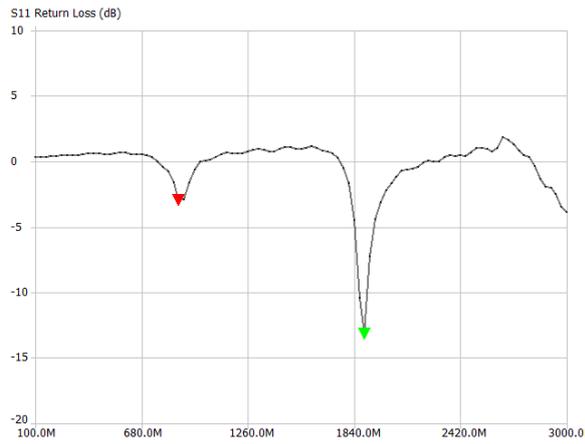
Marker 3

Frequency: 892.000 MHz	VSWR: 1.511
Impedance: 67.9-j16.3 Ω	Return loss: -13.827 dB
Series L: -2.9161 nH	Quality factor: 0.241
Series C: 10.917 pF	S11 Phase: -34.54°
Parallel R: 71.814 Ω	S21 Gain: -72.938 dB
Parallel X: 598.22 fF	S21 Phase: 52.09°

Antenne #5: Zu den Geräten mitgelieferte Stummelantenne



Um ein adäquates Gegengewicht zu bekommen, habe ich in eine ca. 10 x 10 cm große kupferbeschichtete Platine eine SMA-Durchführung befestigt.



Marker 1			
Frequency:	854.000 MHz	VSWR:	3.001
Impedance:	16.7+j3.2 Ω	Return loss:	-6.017 dB
Series L:	596.52 pH	Quality factor:	0.191
Series C:	-58.223 pF	S11 Phase:	171.76°
Parallel R:	17.348 Ω	S21 Gain:	-52.879 dB
Parallel X:	16.903 nH	S21 Phase:	-136.49°

Die Messungen erfolgten mit NanoVNA V2, Rosenberger SMA-Kabel, SOLT Kalibrierungsset 6 GHz von Amphenol. Software NanoVNA-Saver 0.3.3 .

Antenne #6: gestockte Koaxstummel, 2x $\lambda/2$



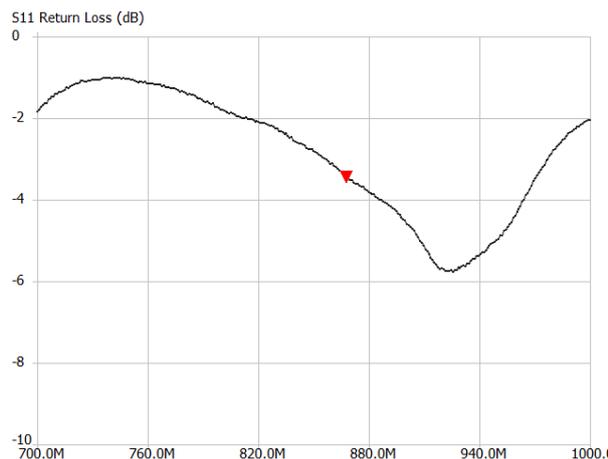
Die Antenne besteht aus 4 Stück $\lambda/2$ Koaxkabel, wo wechselseitig Innen- und Außenleiter mit dem nachfolgenden Segment verbunden sind. Sie gelten als kollineare Antennen und sind scheinbar recht einfach aufzubauen. Im Internet findet man unzählige Beschreibungen, die nachfolgenden 3 Internetadressen mögen ein Hinweis für Interessierte zum Nachlesen sein.

<https://oe7wpa.com/index.php/projekte/antennen/70cm-kollinearantenne>

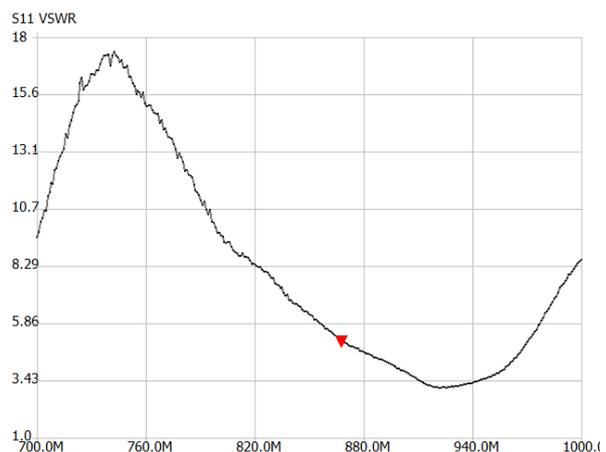
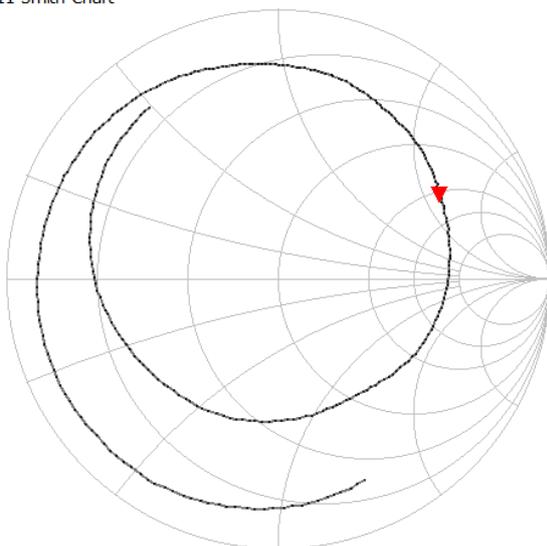
<http://dl8aap.koch-carsten.de/projekte/antennen/70cm-colinear-antenne-aus-koaxkabel-9-db/>

<http://www.reichenthaler.de/index.php/links/78-coax-antenne>

Die Stockung lässt sich x-beliebig erweitern und somit der Gewinn steigern. Trotz mehrfacher Versuche habe ich nur ein mittelmäßig bis schlechtes SWR hinbekommen. Auch ein Versuch mit einem $\lambda/4$ Anfangsstück brachte keine Verbesserung.



S11 Smith Chart



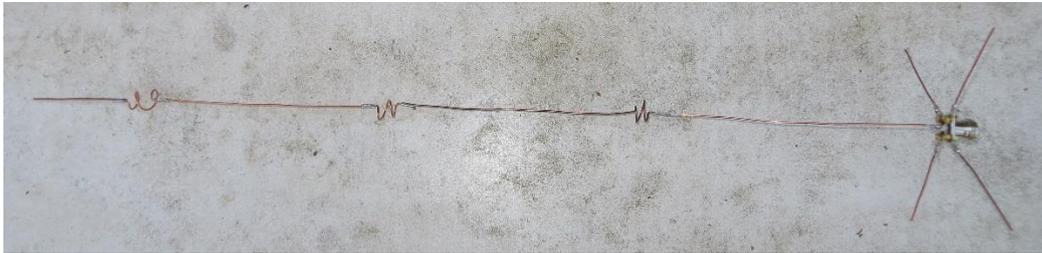
Leider nur ein miserables VSWR!

Marker 1

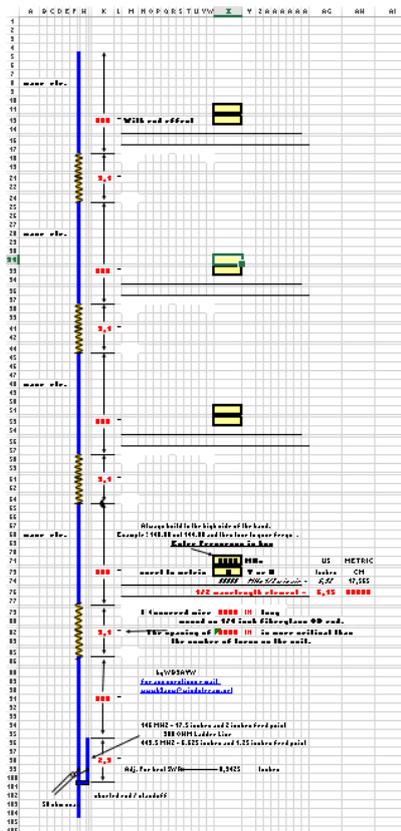
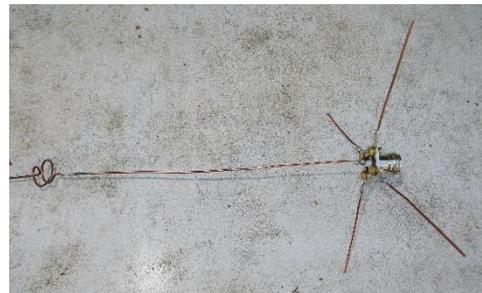
Frequenc: 867.881 MHz	VSWR: 5.092
Impedanz: 104+j119 Ω	Return loss: -3.457 dB
Series L: 21.837 nH	Quality factor: 1.145
Series C: -1.54 pF	S11 Phase: 27.90°
Parallel R: 240.35 Ω	S21 Gain: -72.998
Parallel X: 38.481 nH	S21 Phase: 178.31°

Antenne #7: 4 x $\lambda/2$ Draht gestockt mit $\lambda/4$ Umwegleitung und $\lambda/4$ Basis-Radials

(ebenfalls Prinzip der Kollinearantenne)



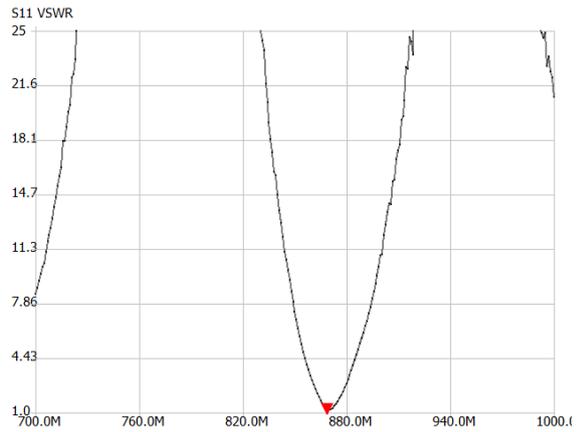
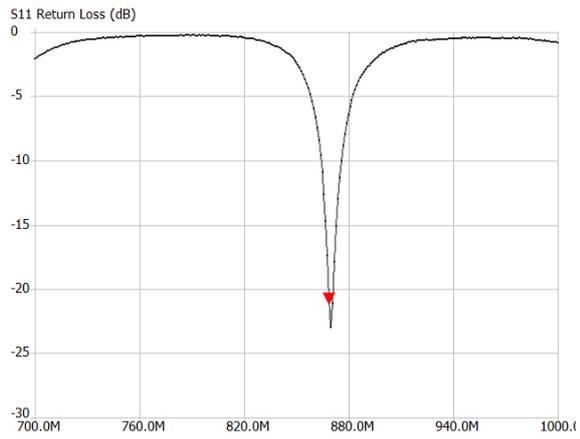
Wie man dem Bild entnehmen kann, ist der Aufbau ähnlich der Antenne #3, nur das hier die Anpassung über die zum Strahler im rechten Winkel angeordneten Radials als Massebezug erfolgt. Die Spitze ist deutlich im Rahmen der Anpassung gekürzt worden und entspricht nur noch $\lambda/4$. Entsprechende Hinweise habe ich auch im Internet gefunden.



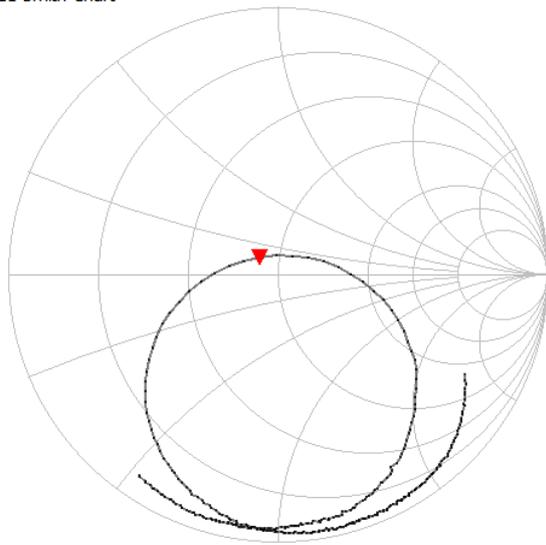
Wer sich mit dieser Antenne beschäftigen möchte findet bei WB3AYW eine gute Beschreibung, einschließlich einer auf Excell basierenden Berechnungsmöglichkeit.

<http://www.hamuniverse.com/wb3aywcollinear.html>

Er hat als Basis die J-Antennenanpassung, die ich hier gegen die 4 Radials getauscht habe.



S11 Smith Chart



Marker 1

Frequency: 868.874 MHz	VSWR: 1.203
Impedance: 43.5+j5.65 Ω	Return loss: -20.724 dB
Series L: 1.0351 nH	Quality factor: 0.13
Series C: -32.414 pF	S11 Phase: 135.56°
Parallel R: 44.229 Ω	S21 Gain: -76.446 dB
Parallel X: 62.356 nH	S21 Phase: -104.93°

Antennen Vergleichstest

Mein Messaufbau besteht aus folgenden Komponenten:



SDRPlay RSP1A als Messempfänger

Software SDR-Uno zur Auswertung

ADF5355 Synthesizer als Messsender

Log-Per Antenne ED3 400 – 1300 MHz als Sendeantenne

Messkabel Ultraflex 7 von Messi & Paoloni, doppelt geschirmt

Die Messstrecke befindet sich im Garten. Sendeantenne und zu vermessende Antenne in 1,67 m Höhe über Rasenfläche. Abstand zwischen beiden Antennen 6,05 m. Somit mehr als 10λ Abstand und damit Fernfeld. Sende- und Empfangsantennen vertikal polarisiert.

Bei der Messung geht es nicht um die Aufnahme von Richtdiagrammen sondern ausschließlich um einen Vergleich hinsichtlich der Empfangsfeldstärke der einzelnen Antennen.

Die Wetterdaten zum ersten Messzeitpunkt 31.01.2021:

Lufttemperatur	-1,0° C	Luftfeuchtigkeit	0 %	2/8 Bewölkung	
Luftdruck	996,3 mBar	Bodenfläche	gefroren	kein Wind	
Datum	31.01.2021	Messbeginn	12:05 Uhr	Messende	14:00 Uhr

Die Wetterdaten zum zweiten Messzeitpunkt 20.02.2021:

Lufttemperatur	+14,9° C	Luftfeuchtigkeit	52 %	2/8 Bewölkung	
Luftdruck	1008,2 mBar	Bodenfläche	feuchte Wiese	kein Wind	
Datum	20.02.2021	Messbeginn	11:35 Uhr	Messende	13:40 Uhr

Die Messantenne wurde mit 2 mW auf der Frequenz 868 MHz beaufschlagt. Um den Empfänger eingang nicht zu überfahren, wurde ein 40dB Dämpfungsglied hp8493B dem Empfänger vorgeschaltet. Durch Abschluss des Ultraflex 7 Messkabels mit einem 50Ω Terminatorwiderstand, anstelle der zu testenden Antenne, wurde festgestellt, dass die Entkopplung Empfänger zu Sendeantenne unter Einbezug Messkabel ausreichend ist.

Am Empfänger abgelesene Messwerte in dBm :

Antenne #1 (Dipol)	:	-85,70 dBm	
Antenne #2 ($\lambda/4$ Groundplane)	:	-86,30 dBm	
Antenne #3 (J-Antenne)	:	-83,87 dBm	
Antenne #4 (gestockte J-Antenne)	:	-84,30 dBm	
Antenne #5 (Stummelantenne)	:	-92,50 dBm	
Antenne #6 (Koax kollinear gest.)	:	-81,27 dBm *	
Antenne #7 (Draht kollinear gest.)	:	-82,57 dBm *	* Werte wurden an Erstmessung interpoliert

Wenn man nun die Antenne #5 (Stummelantenne) als Referenzantenne nimmt und dessen Messwert auf 0 dBm setzt, ergibt sich folgendes Bild:

Antenne #1 (Dipol)	Gewinn	6,80 dB (gegenüber Stummelantenne)
Antenne #2 ($\lambda/4$ Groundplane)	Gewinn	6,20 dB (gegenüber Stummelantenne)
Antenne #3 (J-Antenne)	Gewinn	8,63 dB (gegenüber Stummelantenne)
Antenne #4 (gestockte J-Antenne)	Gewinn	8,20 dB (gegenüber Stummelantenne)
Antenne # 6 (Koax koll. gest.)	Gewinn	11,23 dB (gegenüber Stummelantenne)
Antenne #7 (Draht koll. gest.)	Gewinn	9,93 dB (gegenüber Stummelantenne)

Summarisch ist festzuhalten, dass jede der getesteten Antennen gegenüber der mitgelieferten Stummelantenne einen deutlichen Gewinn bringt. Die gestockte Antenne #4 hat leider nicht den erhofften Zugewinn durch die Stockung der $\lambda/2$ Strahler gebracht und bedarf einer weiteren Überarbeitung. Vom Aufwand und von der mechanischen Haltbarkeit dürfte die $\lambda/4$ Antenne am geeignetsten sein, Antenne #6 weist trotz schlechter Anpassung einen passablen Gewinn auf. Hier müsste man noch einmal einen Neuaufbau unter gleichzeitiger Verwendung eines Schutzrohres vornehmen und u.U. noch weiter aufstocken.

Zu Antenne #4 bekam ich einen Hinweis, diese doch einmal bei der Messung ein wenig zu neigen, da u.U. eine leichte Steilstrahlung vorliegen könnte; leider ohne Erfolg. Trotzdem Dank an Matthias, DD1US, für diesen Hinweis.

Für diejenigen, die nicht den Zusammenhang zwischen S11 RL (Return Loss) und S11 VSWR kennen, habe ich als Anlage einmal eine Auflistung sowie die Umrechnungsformeln zur Übersicht beigefügt. Dort ist auch der Zusammenhang hinsichtlich abgestrahlter bzw. reflektierter Leistung in Abhängigkeit des ermittelten RL bzw. VSWR zu entnehmen.

Viel Spaß beim evtl. Nachbau und den Experimenten mit LoRa. Bitte berichtet über die gemachten Erfahrungen.

Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen.

Kontakt bitte per Mail dl6dca@darc.de oder Ortsfrequenz 144,575 MHz.

vy 73 de Wilhelm, DL6DCA

Dieser Artikel unterliegt dem Urheberrecht. © ®. Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung und Nachdruck nur mit Genehmigung des Verfassers. Wilhelm-H. Weishaupt, DL6DCA, 2021

Anhang:



Return Loss to VSWR Conversion Table

Return Loss (dB)	VSWR	Reflection Coefficient, Γ	Mismatch Loss (dB)	Reflected Power (%)	Through Power (%)
1	17.39	0.891	6.868	79.43	20.57
2	8.72	0.794	4.329	63.10	36.90
3	5.85	0.708	3.021	50.12	49.88
4	4.42	0.631	2.205	39.81	60.19
5	3.57	0.562	1.651	31.62	68.38
6	3.01	0.501	1.256	25.12	74.88
7	2.61	0.447	0.967	19.95	80.05
8	2.32	0.398	0.749	15.85	84.15
9	2.10	0.355	0.584	12.59	87.41
10	1.92	0.316	0.458	10.00	90.00
11	1.78	0.282	0.359	7.94	92.06
12	1.67	0.251	0.283	6.31	93.69
13	1.58	0.224	0.223	5.01	94.99
14	1.50	0.200	0.176	3.98	96.02
15	1.43	0.178	0.140	3.16	96.84
16	1.38	0.158	0.110	2.51	97.49
17	1.33	0.141	0.088	2.00	98.00
18	1.29	0.126	0.069	1.58	98.42
19	1.25	0.112	0.055	1.26	98.74
20	1.22	0.100	0.044	1.00	99.00
21	1.20	0.089	0.035	0.79	99.21
22	1.17	0.079	0.027	0.63	99.37
23	1.15	0.071	0.022	0.50	99.50
24	1.13	0.063	0.017	0.40	99.60
25	1.12	0.056	0.014	0.32	99.68
26	1.11	0.050	0.011	0.25	99.75
27	1.09	0.045	0.009	0.20	99.80
28	1.08	0.040	0.007	0.16	99.84
29	1.07	0.035	0.005	0.13	99.87
30	1.07	0.032	0.004	0.10	99.90
31	1.06	0.028	0.003	0.08	99.92
32	1.05	0.025	0.003	0.06	99.94
33	1.05	0.022	0.002	0.05	99.95
34	1.04	0.020	0.002	0.04	99.96
35	1.04	0.018	0.001	0.03	99.97
36	1.03	0.016	0.001	0.03	99.97
37	1.03	0.014	0.001	0.02	99.98
38	1.03	0.013	0.001	0.02	99.98
39	1.02	0.011	0.001	0.01	99.99
40	1.02	0.010	0.000	0.01	99.99

$$\Gamma = 10^{(-\text{Return Loss}/20)}$$

$$\text{VSWR} = [1 + 10^{(-\text{Return Loss}/20)}] / [1 - 10^{(-\text{Return Loss}/20)}]$$

$$\text{VSWR} = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|)$$

$$\text{Mismatch Loss (dB)} = 10 \log(1 - \Gamma^2)$$

$$\text{Reflected Power (\%)} = 100 * \Gamma^2$$

$$\text{Return Loss (dB)} = -20 \log |\Gamma|$$

$$\text{Return Loss (dB)} = -20 \log [(VSWR-1)/(VSWR+1)]$$

$$\Gamma = (VSWR-1)/(VSWR+1)$$

$$\text{Through Power (\%)} = 100 (1 - \Gamma^2)$$

215 Vineyard Court, Morgan Hill, CA 95037 | Ph: 408.778.4200 | Fax 408.778.4300 | info@markimicrowave.com
www.markimicrowave.com