

## Groundplane-Rechner

Auf den niederen Bändern ist es oft unmöglich, eine  $\lambda/4$ -GP in voller Höhe zu errichten, sodass sie durch Einfügen einer Induktivität elektrisch verlängert werden muss. Das Tool ermittelt die erforderliche Größe der Verlängerungsinduktivität und den komplexen Eingangswiderstand sowie den Wirkungsgrad unter Berücksichtigung der Spulen- und Erdverluste. Außerdem berechnet es das zur Anpassung erforderliche LC-Glied und den Gesamtwirkungsgrad des Antennensystems.

### Beispiel 1: Kurze Groundplane ohne Verlängerungsspule

Für das 40m-Band (7,1MHz) willst Du eine GP errichten, hast allerdings nur einen 6m langen GFK-Mast zur Verfügung (ein  $\lambda/4$ -Strahler müsste 10,4m lang sein).

Der Durchmesser des Antennendrahtes beträgt 2mm und den Verlustwiderstand des Erdungssystems veranschlagst Du mit 20Ohm (dafür brauchst Du schon einige gute Radials).

Gesucht sind die Werte von  $L_s$  und  $C_p$  des Anpassglieds (direkt am Antennenfußpunkt) sowie der Gesamtwirkungsgrad des Antennensystems.

- Zu Beginn trägst Du Frequenz, Antennenlänge und Erdwiderstand ein und stellst den Modus auf "Nichtresonant". Da Du ohne Verlängerungsspule auskommen willst, gilt Du für deren Induktivität der Wert 0.
- Klicke auf "Start" und Du siehst, dass die Fußpunktimpedanz ca. 30Ohm -j400Ohm beträgt (einen ähnlichen Wert würdest Du auch z.B. mit Deinem NanoVNA messen).

Groundplane-Rechner 1.0

☐ Fenster immer oben   Info   22 DL1JWD

### Kurze Groundplane ( $h \leq \lambda/4$ )

Frequenz (MHz): 7.1   Wellenlänge  $\lambda$ (m): 42.254   Modus: ☒ Nichtresonant   ☐ Resonant

**Antenne**

Länge h(m): 6   Strahlungswiderstand  $R_s$ (Ohm): 8.906  
Normierte Länge ( $h / \lambda$ ): 0.142   Verlustwiderstand(Ohm): 20.0  
Drahtdurchmesser d(mm): 2   Fußpunktimpedanz  
Schlankheitsgrad ( $h/d$ ): 3000   Wirkwiderstand  $R_A$ (Ohm): 28.906  
Mittlerer Wellenwiderstand  $Z_m$ (Ohm): 503.56   Blindwiderstand  $X_A$ (Ohm): -398.573

**Verlängerungsspule**

Abstand vom Speisepunkt b(m): 0    $L_s$ ( $\mu$ H): 9.464   QL: 100  
Relative Position (b/h): 0    $C_p$ (pF): 319.944  
Güte QL: 100  
Induktivität( $\mu$ H): 0  
Blindwiderstand Ohm: 0

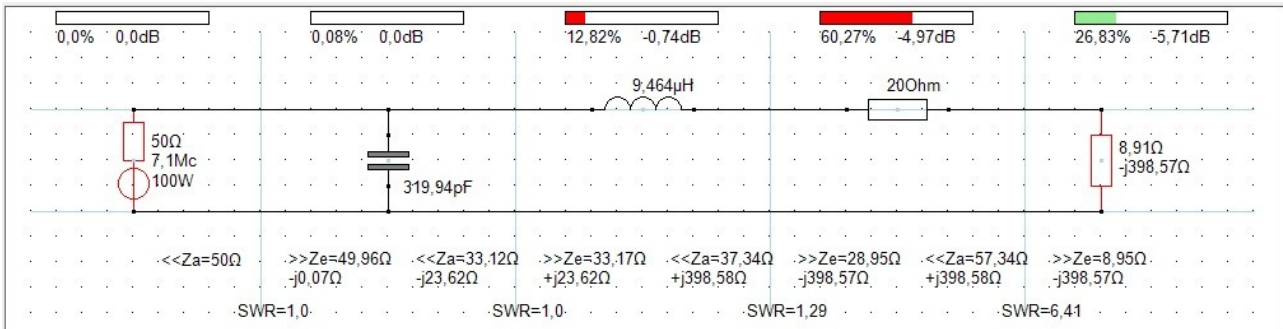
**Anpassglied 500Ohm** ☒   SWV50: 1.0

Erdverlustwiderstand  $R_{ve}$ (Ohm): 20  
Wirkungsgrad (%): 26.88   dB: -5.71

Start

- Setze ein Häkchen bei "Anpassglied" und Du siehst, dass mit  $L_s=9,46\mu\text{H}$  (in Serie zum Antennenfußpunkt) und  $C_p=320\text{pF}$  (parallel zur 50Ohm-Einspeisung) sich ein  $\text{SWV}=1,0$  an 50Ohm erzielen lässt.  
Der Gesamtwirkungsgrad erreicht trotzdem nur magere 26,88%, weil der Strahlungswiderstand ( $8,9=\text{Ohm}$ ) deutlich geringer als der Erdverlustwiderstand (20 Ohm) ist.

Eine detaillierte Verlustanalyse mit dem [Kleinen Netzwerkanalysator](#) bestätigt diese Werte:



## Beispiel 2: Kurze Groundplane mit Verlängerungsspule

Welche Verbesserung des Wirkungsgrads würde das Einfügen einer Verlängerungsspule bringen?

- Gib für den "Abstand zum Speisepunkt" zunächst den Wert 0 ein (Spule direkt am Fußpunkt) und wechsele den Modus zu "Resonant".
- Du siehst, dass eine 8,9μH Spule erforderlich ist, um die Antenne elektrisch so zu verlängern, dass Resonanz herrscht. Zu Deiner Enttäuschung musst Du aber feststellen, dass Du diesmal zwar auf ein Anpassglied verzichten kannst, der Wirkungsgrad aber etwa auf seinem alten Wert (ca. 27%) verbleibt.
- Wenn Du jetzt die Verlängerungsspule schrittweise nach oben verschiebst ( $b > 0$ ), wirst Du feststellen, dass die für Resonanz erforderliche Induktivität deutlich ansteigt, ebenso der Strahlungswiderstand und der Wirkungsgrad der Antenne.  
Den maximal möglichen Wirkungsgrad von ca. 40% erreichst Du mit einer 29μH-Spule, die Du ca. 4m vom Speisepunkt entfernt anbringst.

Groundplane-Rechner 1.0

☐ Fenster immer oben Info 22 DL1JWD

### Kurze Groundplane ( $h \leq \lambda/4$ )

Frequenz (MHz)  Wellenlänge  $\lambda$ (m)  Modus   
☐ Nichtresonant ☒ Resonant

**Antenne**

Länge h(m)  Strahlungswiderstand  $R_s$ (Ohm)    
 Normierte Länge ( $h / \lambda$ )  Verlustwiderstand(Ohm)    
 Drahtdurchmesser d(mm)  Fußpunktimpedanz   
 Schlankheitsgrad ( $h/d$ )  Wirkwiderstand  $R_A$ (Ohm)    
 Mittlerer Wellenwiderstand  $Z_m$ (Ohm)  Blindwiderstand  $X_A$ (Ohm)

**Verlängerungsspule**

Anpassglied 500hm ☐ SWV50    
 Abstand vom Speisepunkt b(m)   $L_s$ ( $\mu$ H)  QL    
 Relative Position ( $b/h$ )   $C_p$ (pF)    
 Güte QL    
 Induktivität( $\mu$ H)  Erdverlustwiderstand  $R_{ve}$ (Ohm)    
 Blindwiderstand Ohm)  Wirkungsgrad (%)  dB

**Start**

Durch "Herumspielen" mit den Antennen-Parametern kannst Du u.a. folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Ein kleinerer Schlankheitsgrad (gedrungene Antenne = dickerer Antennendraht) ist besser, denn das führt zu einem kleineren mittleren Wellenwiderstand des Strahlers und zu einem niedrigeren kapazitiven Blindwiderstand, zu dessen Kompensation Du eine kleinere Verlängerungsspule benötigen würdest. Deren geringerer Verlustwiderstand führt letztendlich zu einem besseren Wirkungsgrad.
- Ein Wegrücken der Spule vom Speisepunkt bewirkt eine günstigere Stromverteilung (anstatt der dreieckförmigen) und verbessert die DX-Abstrahlung, was sich z.B. mit einer EZNEC-Simulation nachweisen lässt. Der gleichzeitig ansteigende Strahlungswiderstand wirkt sich ebenfalls günstig auf den Wirkungsgrad aus.
- Ein Wegrücken der Spule vom Speisepunkt erhöht aber auch deren Verluste, da aufgrund des absinkenden Stromflusses die Induktivität vergrößert werden muss, um die gleiche elektrische Verkürzung zu erzielen.
- Beide vorgenannten Punkte beeinflussen den Wirkungsgrad gegenläufig. Dessen (sehr flaches) Maximum wird erreicht, wenn die Spule im Abstand von etwa einem bis zwei Drittel der Antennenlänge angebracht wird.
- Im Interesse einer besseren DX-Abstrahlung (Strombauchs möglichst weit nach oben verschieben) nimmt man oft eine moderate Verschlechterung des Wirkungsgrads in Kauf und positioniert trotz möglicher mechanischer Probleme die Spule im oberen Drittel.

- Die Erdverluste können den Wirkungsgrad einer ansonsten gut dimensionierten GP total verschlechtern!  
In der Praxis bewegen sich die Erdverluste zwischen 10 und 25 Ohm.  
**Die Berechnung des Wirkungsgrads ohne Berücksichtigung der Erdverluste ist reine Augenwischerei!**
- Generell sind Erdverluste an der Abweichung des Wirkwiderstandes vom errechneten Wert nach oben zu erkennen. Die Differenz ist der Verlustwiderstand durch Erdströme (oder Leiterwiderstand und Übergangswiderstände in der Einspeisung).
- Das Programm berechnet **nicht** die zusätzlichen Verluste, die auf dem Weg von der Antenne zum Sender in der Speiseleitung und evtl. im Antennentuner auftreten.  
Da aber am Antennenfußpunkt ein 50 Ohm-Abschluss hergestellt wird, beschränken sich diese Verluste im Wesentlichen auf die Grunddämpfung des Kabels und bleiben damit überschaubar (keine SWV-bedingten Zusatzverluste, siehe [Kabelrechner](#)).

## Etwas Theorie

Ausgangspunkt der Berechnungen ist der mittlere Wellenwiderstand  $Z_m$  einer Monopolantenne (Groundplane), der unmittelbar von deren Schlankheitsgrad ( $l / d$ ) abhängig ist:

$$Z_m [\Omega] = 60 \left[ \ln \left( 4 \frac{l}{d} \right) - 1 \right]$$

$l$  = Länge des Strahlers

$d$  = Durchmesser des Strahlers

Unter der Bedingung, dass die auf die Wellenlänge  $\lambda$  normierte Antennenlänge kleiner als die eines Viertelwellenstrahlers ist ( $l / \lambda < \approx 0,25$ ) errechnet sich daraus die Blindkomponente der Eingangsimpedanz  $X_A$  zu

$$X_A = \frac{-Z_M}{\tan \left( 2 \pi \frac{l}{\lambda} \right)} + X_{\text{kor}}.$$

$X_{\text{kor}}$  ist eine Korrekturgröße, die man aus der normierten Antennenlänge  $l/\lambda$  näherungsweise ermitteln kann:

$$\begin{array}{ll} X_{\text{kor}} [\Omega] \approx 276 \left( \frac{l}{\lambda} \right)^{1,85} & \text{für } \frac{l}{\lambda} \approx 0,14 \dots 0,25 \\ X_{\text{kor}} [\Omega] \approx 78 \left( \frac{l}{\lambda} \right)^{1,22} & \text{für } \frac{l}{\lambda} < 0,14 \end{array}$$

Das Einfügen einer Spule im Abstand  $b$  vom Speisepunkt entspricht einer elektrischen Verlängerung  $l_v$  der Antenne, die sich mit der Hilfsgröße

$$N = \frac{1}{\tan 2 \pi \frac{l-b}{\lambda}} - \frac{X_L}{Z_M}$$

wie folgt aus der Leitungstheorie berechnen lässt [1]:

$$l_v = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{atan}\left(\frac{1}{N}\right) - \frac{l-b}{\lambda}$$

$X_L$  = Blindwiderstand der Spule

Der Wirkungsgrad der Groundplane ergibt sich zu :

$$\eta_{res} = \frac{1}{1 + \frac{R_{vf} + R_{ve}}{R_s}}$$

$R_{vf}$  = von der Verlängerungsspule in den Eingang transformierter Verlustwiderstand  $R_{vf}$

$R_{ve}$  = Erdverlustwiderstand

Da das Programm auch noch die Verluste des für die 50Ohm-Anpassung erforderlichen LC-Glieds erfasst, fällt der angezeigte Gesamtwirkungsgrad etwas geringer als der mit obiger Formel berechnete (und aus der Literatur bekannte) aus.

Auf die zur Ermittlung von Eingangsimpedanz und Wirkungsgrad erforderlichen Ableitungen verzichte ich, weil dies bereits in der gebotenen Tiefe in [1] erfolgt ist. Ohnehin ist dieser mit zahlreichen anschaulichen Diagrammen untermauerte Klassiker von OM Janzen, DF6SJ, für alle empfehlenswert, die tiefer in die anspruchsvolle Materie der kurzen Antennen eindringen wollen. Insbesondere verweise ich auf die folgenden aus [1] entnommenen Formeln, die ich im Groundplane-Rechner direkt implementiert habe:

- (5.23) Elektrische Verlängerung der Antenne durch Einfügen einer Spule
- (5.24) Blindwiderstand am Speisepunkt der Antenne
- (5.27) Induktivität der Spule zur Herstellung von Resonanz
- (5.32) wirksame Antennenlänge unter Voraussetzung eines konstanten Stroms
- (5.33) Strahlungswiderstand allgemein
- (5.35) Strahlungswiderstand der auf Resonanz verlängerten Antenne
- (5.41) an den Eingang transformierter Verlustwiderstand der Verlängerungsspule
- (5.42) auf den Eingang transformierter Verlustwiderstand bei Resonanz

## Literatur

[1] G. Janzen, DF6SJ: "Kurze Antennen", Franckh'sche Verlagshandlung W.Keller & Co., Stuttgart 1986

[2] K. Kark: "Antennen und Strahlungsfelder", Vieweg Verlag 2004