

# Tutorium zur Antennensimulation mit 4NEC2

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Was ist NEC2? .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Bedienoberfläche für 4NEC2.....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>Bearbeitungsmöglichkeiten.....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>Modellierung einer Antenne mit ‚Geometry Edit‘ .....</b>	<b>3</b>
<b>5.</b>	<b>Verifizierung eines Modells.....</b>	<b>8</b>
<b>6.</b>	<b>Modellierung einer Antenne im ‚Notepad-Editor‘ .....</b>	<b>10</b>
6.1	Grundlegende Befehle .....	10
6.2	Struktur der Antenne, Strom- und Phasenverteilung .....	12
6.3	Fernfeld, 2D Polar- und 3D Fernfeld-Richtdiagramme.....	15
6.4	Erzeugung einer Frequenzschleife.....	16
6.5	Optimierung der Antenneneigenschaften .....	19
6.6	Evaluierung der Antenneneigenschaften .....	22
6.7	Nahfeldanalyse.....	23

## 1. Was ist NEC2?

NEC2 ist ein Computer-Code, mit dessen Hilfe die elektromagnetischen Eigenschaften von Antennen und anderen Metallstrukturen analysiert werden können. Die Abkürzung NEC bedeutet ‚Numerischer Elektromagnetischer Code‘. NEC2 ist eine Weiterentwicklung des um 1970 entstandenen ‚Antenna Modelling Programs (AMP)‘. Es gibt mindestens vier Versionen von NEC. Darunter NEC2, welches 1981 für militärische Zwecke in den Lawrence Livermore Laboratories von G. J. Burke und A. J. Poggio entwickelt wurde. Es stellt die höchste frei benutzbare Version des Codes dar. 4NEC2 ist eine grafische Oberfläche zu NEC2. Es wurde von Arie Voors programmiert, um die Handhabung von NEC2 einfacher zu gestalten und um die Simulationsergebnisse besser auswerten zu können. 4NEC2 kann im Internet auf der Seite [www.nec2.org](http://www.nec2.org) unter dem Link ‚Unofficial NEC Archives‘ kostenlos herunter geladen werden.

NEC2 basiert auf der numerischen Lösung der Integralgleichungen für induzierte Ströme, die in einer Antennenstruktur durch Quellen oder Nebenfelder verursacht werden. Des Weiteren beinhaltet NEC2 eine Methode zur Modellierung von Böden („Grounds“) basierend auf den Sommerfeld-Integralen sowie eine Option zur Änderung von Strukturen, ohne die gesamte Lösung wiederholen zu müssen (sog. Numerische Green Funktion).

Die Nachfolgerversionen NEC3 (1985) und NEC4 (1993) sind nach wie vor Eigentum der Lawrence Livermore Laboratories und der University of California, weshalb man zur Benutzung dieser Programme eine besondere Lizenz benötigt.

## 2. Bedienoberfläche für 4NEC2

Die Bedienoberfläche von 4NEC2 kann grundsätzlich in vier Hauptfenster eingeteilt werden (die Angaben in Klammern bezeichnen den Short-Key):

- *Main (F2)*
- *Geometry (F3)*
- *Pattern (F4)*
- *Impedance (Imp. / SWR / Gain F5)*

### *Main:*

Das ‚Main‘-Fenster zeigt die generellen Daten, die im NEC2-Eingangs- und Ausgangsfile enthalten sind. Die angegebenen Strom- und Spannungswerte werden als Effektivwerte angegeben. In diesem Fenster kann man auf nahezu alle Möglichkeiten der NEC2-Maschine

zugreifen, wie zum Beispiel das Erstellen eines Richtdiagramms oder die Optimierung bzw. Evaluierung einer untersuchten Antennenstruktur. Diese werden in späteren Kapiteln anhand von Beispielen erläutert.

#### *Geometry:*

In diesem Fenster wird die geometrische Struktur wie sie im Eingangs- bzw. Ausgangsfile erzeugt wurde dargestellt. Diese Darstellung beinhaltet ebenfalls Spannungsquellen, Transformationsleitungen (*transmission lines*) und Lasten (*loads*).

#### *Pattern:*

Im ‚Pattern‘-Fenster wird die Nah- oder Fernfeldcharakteristik angezeigt. Dabei wird das Fernfelddiagramm standardmäßig in Polarkoordinaten angezeigt. Man hat nun die Möglichkeit, zwischen linearer oder logarithmischer Darstellung zu wählen. Nähere Erläuterungen werden in den nachfolgenden Kapiteln anhand von Beispielen geliefert.

#### *Impedance:*

Das ‚Impedance‘-Fenster zeigt die Eingangsimpedanz, das Stehwellenverhältnis und, falls es vorher festgelegt wurde, den Gewinn wie auch das Vor-Rück-Verhältnis als Funktion einer Frequenz- bzw. Variablenänderung.

### **3. Bearbeitungsmöglichkeiten**

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten das Simulationsprogramm NEC2 zu verwenden. Die erste Möglichkeit besteht darin, mit Hilfe des ‚Geometry Editors‘ ein Antennenmodell zu entwickeln und zu modifizieren. Jedoch kann der Anwender dabei nicht auf die Optimierungsfunktionen zurückgreifen. Damit der Anwender die Optimierungs- und die Evaluierungsfunktionen verwenden kann, muss das Modell mindestens ein Symbol (Variable) beinhalten, das optimiert werden kann. Symbole können nur in 4NEC2 verwendet werden. Weiterhin kann man sie nur im ‚Notepad-‘ oder im ‚NEC2-Editor‘ erzeugen (siehe Modellierung einer Antenne im ‚Notepad-Editor‘).

### **4. Modellierung einer Antenne mit ‚Geometry Edit‘**

Im ‚Geometry Editor‘ können die Antennen in ihrer geometrischen Struktur hergestellt werden. Man geht dabei wie folgt vor:

Man stellt im ‚Main‘-Fenster unter ‚Settings‘ die Option ‚Geometry Edit‘ ein. Im Anschluss daran wird unter ‚Edit‘ und ‚Input (.nec) file‘ ein Beispiel ausgesucht. Es erscheint ein

neues Fenster (,Geometry Edit'). Um nun ein neues, eigenes Modell entwickeln zu können, muss in diesem Fenster ,File' - ,New' ausgewählt werden.

Um die Eigenschaften des ,Geometry Editors' besser verstehen zu können, soll nun als Beispiel ein  $\lambda/2$ -Dipol modelliert werden. Bevor man mit der eigentlichen Modellierung beginnen kann, sind noch einige wichtige Voreinstellungen vorzunehmen:

- ,Settings' – ,Length Unit' – ,Meters' (im ,Main'-Fenster)
- ,Options' – ,Segmentation' – ,Medium' (im ,Geometry Edit'-Fenster)

Nun kann mit der eigentlichen Modellierung begonnen werden:

#### *Festlegungen der Antennen-Design-Frequenz*

Man gibt in die ,Frequenz-Text-Box' eine Frequenz von 29.98 MHz ein ( $\lambda = 10$  m).

#### *Drähte hinzufügen*

Man erzeugt eine XZ-Ebene, indem man den zugehörigen Button anklickt. Im Anschluss daran muss man den ,Draht'-Button drücken (rechts neben ,Del'). Um einen Draht hinzufügen zu können, muss der ,Add'-Button aktiviert werden. Das geschieht durch Anklicken. Sowohl der ,Add'-Button als auch die ,Y-Text-Box' färben sich grün. Nun kann ein bestimmter Wert für y (Tiefe) eingegeben werden. Im Beispiel soll die Tiefe jedoch 0 m betragen. Mittels der ,Grid-Scroll-Bar' in der oberen rechten Ecke des Fensters lässt sich die Gitterauflösung auf 0.1 m einstellen. Nun zeichnet man einen Draht in einer Höhe von  $z = 5$  m von dem Punkt  $x = -2.5$  m bis  $x = 2.5$  m, indem man die linke Maustaste gedrückt hält und den Draht bis zum Endpunkt zieht. Jetzt kann die Maustaste losgelassen werden. Der Drahtdurchmesser soll vorerst zu 1 gewählt werden. Falls das Fenster zu klein ist, so kann mit Hilfe des ,Zoom-Scroll-Bar' (rechts oben) eine geeignete Größe eingestellt werden

#### *Hinzufügen einer Spannungsquelle*

Man drückt, während man nach wie vor im ,Add'-Mode ist, den ,Spannungsquelle'-Button (rechts neben dem ,Draht'-Button).

Nun klickt man mit dem Mauszeiger irgendwo in das Editor-Fenster und hält dabei die linke Maustaste gedrückt. Es erscheint eine Spannungsquelle. Diese zieht man, nach wie vor mit gedrückter linker Maustaste, in die Mitte des Drahtes, der sich in der Höhe  $z = 5$  m befindet. Spannungsquellen lassen sich nur auf Drähten platzieren. Die Spannungsquelle soll in diesem Beispiel einen Wert von  $1.0 + j 0.0$  V und  $1.0$  V @  $0.0$  deg. haben (siehe rechts unten).

### *Leitfähigkeit der Leitungen*

Das Antennen-Modell soll mit Kupferdrähten aufgebaut werden. Dazu drückt man den ‚Last‘-Button (RLC Symbol).

Man platziert die Last auf einem der Drähte. Die Vorgehensweise entspricht der Platzierung der Spannungsquelle.

Anschließend verändert man ‚Par-RLC‘ zu ‚W.cond‘. Dadurch färbt sich das entsprechende Drahtsegment orange. Das deutet an, dass der Draht eine Last besitzt. Nun stellt man weiterhin anstelle einer Leitfähigkeit von 0 mho/m ‚copper‘ für Kupfer ein.

Damit die gesamte Anordnung eine Last besitzt, muss man von ‚Spot load‘ in ‚Whole struct.‘ wechseln. Nun färbt sich die gesamte Anordnung orange. Falls man nur einen Draht ‚belasten‘ möchte, so muss man ‚Single wire‘ einstellen.

### *Übertragung/Drehung/Skalierung von Antennen*

Nun soll der Radius des Drahtes bestimmt werden. Dazu geht man in den ‚Select‘-Mode (‚Pfeil‘-Button) und wählt einen Draht aus, indem man den ‚Draht‘-Button drückt und den entsprechenden Draht mit dem Mauscursor anklickt. Dieser färbt sich dabei rot. Man gibt jetzt zum Beispiel für den Draht als Radius #7 ein.

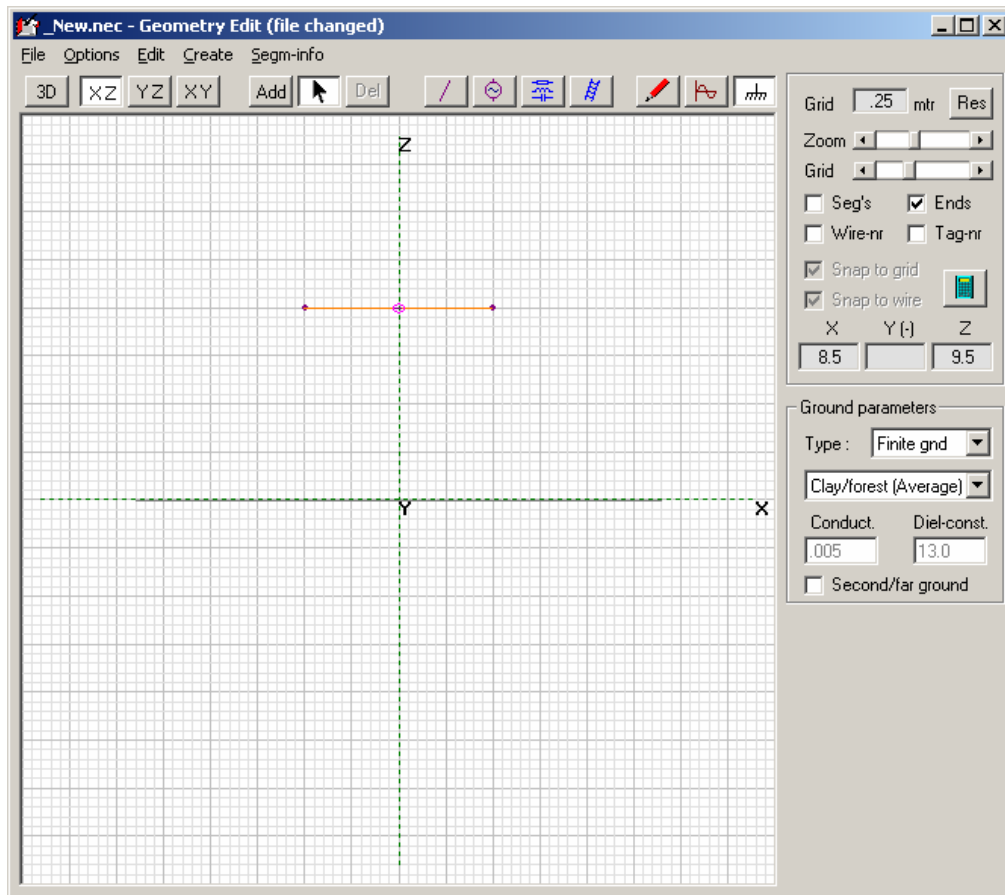
In diesem Modus können Drähte übertragen bzw. gedreht werden. Dazu muss ein Draht ausgewählt werden. Berührt man anschließend den Draht, so ergeben sich zwei Möglichkeiten: Verändert sich der Mauscursor zu zwei Pfeilspitzen, so kann der ganze Draht wegtransportiert werden. Bei vier Pfeilspitzen ist es möglich, den Draht zu drehen. Das gleiche Prinzip kann auf Spannungsquellen, Lasten und Transformationsleitungen angewandt werden. Diese Objekte können jedoch nur von einem Drahtsegment zum anderen bewegt werden.

### *Bestimmung der Erd-Parameter*

Beim Laden des Programms befindet sich ein Modell immer im ‚freien Raum‘. Um ein Antennenmodell über dem Boden zu erzeugen, muss man den ‚Masse‘-Button (rechts oben) drücken. Nun kann man zwischen ‚Free-space‘, ‚Perfect-‘, ‚Finite-‘ oder ‚SomNec‘-Boden wählen. Für das Beispiel wird ‚Finite-ground‘ verwendet.

Nun wechselt man von ‚User-specified‘ zu ‚Average (Clay/Forest) ground‘. Die Leitfähigkeit wird nun automatisch auf 0.005 S und die Dielektrizitätskonstante (‚Diel-const‘) auf 13 gesetzt.

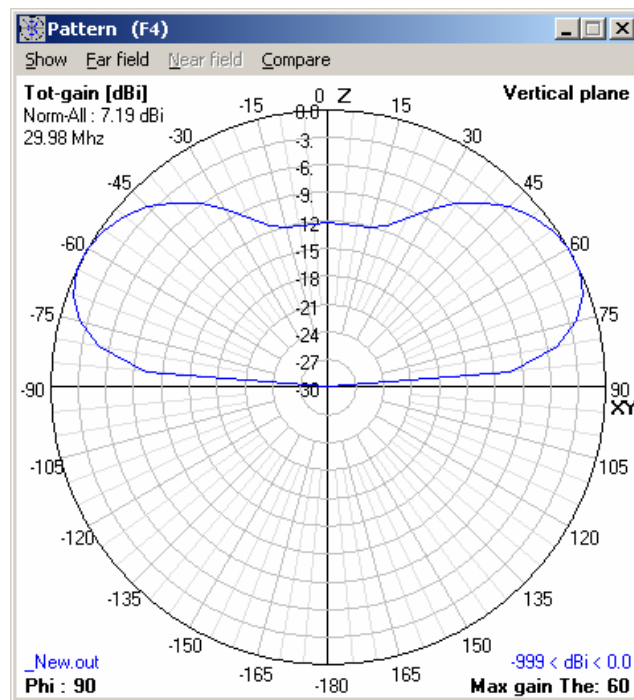
Man erhält folgende Abbildung:



**Abb. 1:**  $\lambda/2$ -Dipol im Geometry Editor

### *NEC2-Maschine starten und Erzeugung eines Fernfeld-Richtdiagramms*

Die NEC2-Maschine startet man, indem man nach dem Speichern der Daten das Taschenrechnersymbol oder F7 drückt. Es erscheint ein neues Fenster, in dem mehrere Optionen eingestellt werden können. Um ein Fernfeld-Richtdiagramm zu erzeugen, wählt man ‚far-field pattern‘ aus. Man behält für ein erstes Beispiel am besten die default-Einstellungen ‚Full‘ bei und gibt eine Auflösung von  $5^\circ$  (resol. 5 deg.) an. Nun drückt man ‚Generate‘. Es erscheint ein neues Fenster, das sog. ‚Pattern‘-Fenster. In ihm ist die Richtcharakteristik der Antennenstruktur zu sehen.



**Abb. 2:** Richtcharakteristik eines  $\lambda/2$ -Dipols

Unter ‚Options‘-, ‚View Nec2-Data‘ ist der entstandene Programmcode zu sehen. Die Erklärung der einzelnen Befehle folgt in den nachfolgenden Kapiteln. Mit Hilfe des ‚Bleistift‘-Buttons können Kommentare geschrieben werden, die anschließend am Anfang des Programmcodes zu sehen sind. Des Weiteren werden Angaben über die Segmentierung sowie die Lage der Leitungen gemacht.

Es müssen bei der Modellierung einer Antennenstruktur wichtige Hinweise berücksichtigt werden.

- Drähte können nur an ihren Enden verbunden werden. Drähte, die sehr nahe beieinander liegen, werden automatisch miteinander verbunden. Deshalb sollte man es vermeiden, bei einer Konstruktion Drähte zu nahe aneinander vorbeilaufen zu lassen.
- Drähte dürfen sich nicht überkreuzen oder den gleichen Raum beanspruchen. Dies führt zu schwerwiegenden Berechnungsfehlern, da die Drähte als nicht miteinander verbunden angesehen werden.
- Jeder Draht wird in einzelne Segmente zerlegt. Die NEC-Maschine nimmt an, dass der Strom über ein Segment sinusförmigen Verlauf besitzt und dass die Ströme von nebeneinander liegenden Segmenten sich an der Grenzschicht treffen. Das führt zu dem Problem, eine endliche (finite) Anzahl von Impedanz-, Strom- und Feldstärkebeiträgen zu finden. Zwar nimmt die Genauigkeit mit einer größeren

Anzahl an Segmenten zu, die Berechnungszeit jedoch steigt mit dem Quadrat der Segmentanzahl. Es haben sich zehn Segmente pro halber Wellenlänge als günstig erwiesen. Für genaue Impedanzwerte kann die Anzahl der Segmente auf 20 erhöht werden.

## 5. Verifizierung eines Modells

Nachdem ein Modell simuliert wurde, stellt sich unweigerlich die Frage, ob die erhaltenen Ergebnisse richtig sind. Es gibt grundsätzlich vier Möglichkeiten, wie man sein Modell verifizieren kann. Sie gründen sich auf der Erfahrung des Anwenders sowie auf in der Literatur dargestellte Angaben (falls es sich um eine bereits untersuchte Antennenstruktur handelt). Für einen Anwender, der kein fachspezifisches Wissen in der Hochfrequenztechnik besitzt, ist es demnach sehr schwierig abzuschätzen, ob seine Simulation richtige Ergebnisse liefert. Hier stellt man sich vor allem die Frage, ob die Resultate *logisch* zu erklären sind. Alle vier Möglichkeiten werden nachfolgend am Beispiel des  $\lambda/2$ -Dipols aus dem vorherigen Kapitel erläutert.

Zuerst sollte man das Richtdiagramm untersuchen. Diese Möglichkeit dient aber lediglich einer ersten, groben Untersuchung. Ein Dipol strahlt in zwei Richtungen. Falls er sich über dem Boden befindet, so kann er nicht nach unten strahlen. Beides ist in Abb. 10 erkennbar.

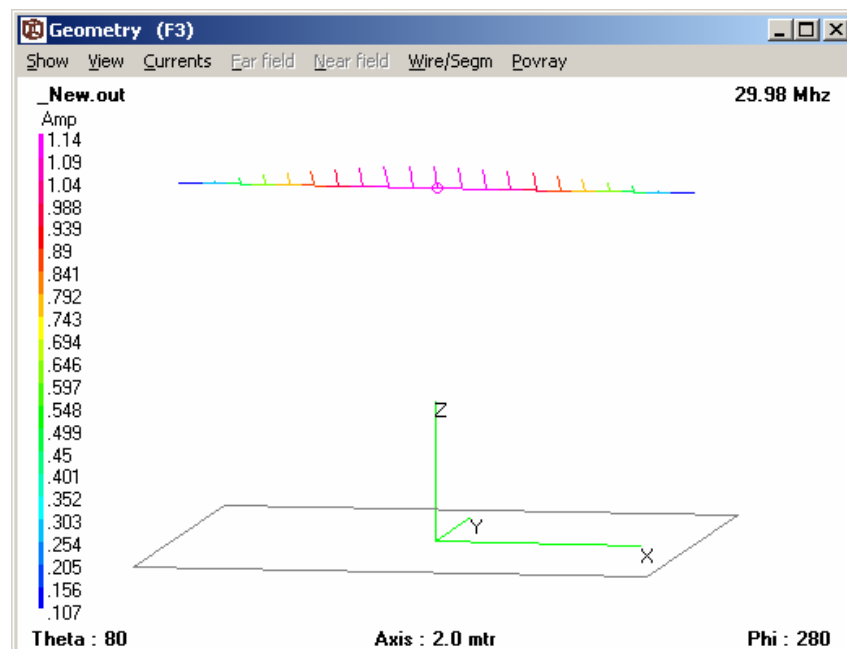
Als nächstes ist der Wirkungsgrad der Antennenstruktur zu betrachten. Unter dem Wirkungsgrad versteht man das Verhältnis aus abgestrahlter und zugeführter Leistung. Sein Wert wird im *Main*-Fenster dargestellt. Er kann logischerweise nicht größer als 100 % sein. Ist dies doch der Fall, so ist das Simulationsergebnis auf alle Fälle falsch. Bei einer Struktur ohne Last (*loads*) ist es vernünftig, einen Wirkungsgrad von 100 % zu erwarten, da es ja keine Verluste geben kann. In dem dargestellten Dipolbeispiel, das eine Last besitzt, erwartet man also einen Wirkungsgrad, der etwas kleiner als 100 % ist. Es ergibt sich ein Wert von 99.14 %. Dies scheint realistisch und erhärtet die Annahme, dass die Simulation richtige Ergebnisse geliefert hat. Ist der Wirkungsgrad der Antenne sehr gering, also deutlich unter 50 %, so liegen wahrscheinlich falsche Ergebnisse vor.

Als drittes hat man die Möglichkeit, die Impedanz der Antennenstruktur zu betrachten. Diese sollte sich in einem vernünftigen Rahmen befinden. Im Dipol-Beispiel erhält man eine Impedanz von  $(76.2 + j 35.5) \Omega$ . Dies ist ein realistischer Wert, wenn man davon ausgeht, dass im Bereich von  $50 \Omega$  bis  $75 \Omega$  Anpassung vorhanden ist.



Die wichtigste Untersuchung, um festzustellen, ob Simulationsergebnisse richtig sind, besteht in der Betrachtung des Stromes. Dabei sollte der Strom in Betrag und Phase auf den einzelnen Segmenten betrachtet werden. Ein Dipol besitzt bei symmetrischer Speisung, wie sie im Beispiel vorhanden ist, an seinen Enden keinen Strom und im Speisepunkt ein Strommaximum. Der Stromverlauf auf einem Dipol stellt somit eine Halbwelle dar. Mit diesen Kenntnissen leuchtet ein, dass die Ergebnisse des vorgestellten  $\lambda/2$ -Dipols richtig sind.

Die nachfolgende Abbildung zeigt nochmals den Verlauf des Stromes in Betrag und Phase. Es darf jedoch nicht vergessen, dass nicht nur der Verlauf, sondern auch die Stärke des Stromes wichtig ist. Zu diesem Zweck wurde in der Abbildung eine Farbskala eingeführt, die die Stärke des Stromes darstellt. Es ist erkennbar, dass der Strom vernünftige, reale Werte annimmt.



**Abb. 3:** Stromverlauf auf einem  $\lambda/2$ -Dipol

## 6. Modellierung einer Antenne im ‚Notepad-Editor‘

### 6.1 Grundlegende Befehle

Nachfolgend werden die wichtigsten Befehle, die zur Modellierung einer Antenne notwendig sind, aufgelistet.

*CM (Comment):*

Die ersten 30 Zeichen werden als Titel interpretiert.

*CE (Comment End):*

Beschließt die Angabe des Titels.

*SY (Symbol):*

Definiert eine Variable.

*GW (Geometry Wire):*

Definiert einen Draht/ eine Leitung.

**Tab. 1:** GW-Karte

Tag-Nr.	Anzahl Segmente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Drahtradius

*GE (Geometry End):*

Beschließt die Angaben zu GW.

0 keine Bodenfläche

1 Bodenfläche vorhanden, Spiegelstruktur, Stromausdehnung, GN-Card zwingend notwendig, Drahtradius sollte blank sein

-1 Boden vorhanden, Spiegelstruktur, keine Stromausdehnung, GN-Card zwingend notwendig

*EX (Excitation):*

Spannungsquelle vom Typ 0.

**Tab. 2:** EX-Karte

Tag-Nr.	Anzahl Segmente	XX->	Realteil	Imaginärteil

*FR (Frequency):*

Angabe der Design-Frequenz.

**Tab. 3:** FR-Karte

Linear	0	Anzahl der Schritte	0	0	Startwert	Schrittweite
Logarithmisch	1	Anzahl der Schritte	0	0	Startwert	Schrittweite

*GN (Ground):*

Definiert die Eigenschaften des Bodens.

**Tab. 4:** GN-Karte

Freiraum	-1							
Endlicher Boden	0	Nr. des Drahtradius	0	0	Dielektrizitätskonstante	Leitfähigkeit (S/m)	Radiusabschirmung	Radius des Drahtes
Perfekter Boden	1							
Sommer-Norton-Boden	2	0	0	0	Dielektrizitätskonstante	Leitfähigkeit (S/m)		

Eigenschaften einiger Böden:

**Tab. 5:** Bodeneigenschaften

Boden	Dielektrizitätskonstante	Leitfähigkeit (S/m)
Meerwasser	80	5.0
Guter Boden	10	0.01
Schlechter Boden	4	0.001
Eis	1	0.0001
Frisches Wasser	80	0.002

*LD (Load):*

**Tab. 6:** LD-Karte

keine Last	-1						
RLC (Serie)	0	Tag-Nr.	Start-	End-	R ( $\Omega$ )	L (H)	C (F)

			Segment	Segment			
parallel	1	vgl. 0			vgl. 0		
RLC (Serie)	2	vgl. 0			R ( $\Omega/m$ )	L (H/m)	C (F/m)
parallel	3	vgl. 0			vgl. 2		
Impedanz	4	vgl. 0			Widerstand ( $\Omega$ )	Reaktanz ( $\Omega$ )	
Leitfähigkeit	5	vgl. 0			Leitfähigkeit (mh/m)		

Hinweis: Die LD-Karte wird immer in Verbindung mit den EX- und LD-Karten verwendet.

*TL (Transmission Line):*

**Tab. 7:** TL-Karte

Tag-Nr. Port 1	Seg.-Nr. Port 1	Tag-Nr. Port 2	Seg.-Nr. Port 2	Imped. ( $\Omega$ )	Länge (m)	Admit. (Re.-teil 1)	Admit. (Im.-teil 1)	Admit. (Re.-teil 2)	Admit. (Im.-teil 2)

*NE (Near electric Field):*

Nur die erste NE-Karte wird ausgewertet. Ist bei einer Nahfeldanalyse zwingend nötig.

*EN (End):*

Beendet die Übersetzung der Datei.

## 6.2 Struktur der Antenne, Strom- und Phasenverteilung

Für das nachfolgende Kapitel wird folgendes Programmbeispiel verwendet. Es beschreibt eine Yagi-Antenne im freien Raum (nach: 7lyagi10.nec). Die Erklärungen der einzelnen Befehle sind im vorhergehenden Kapitel zu finden.

```

CM 7-element wire Yagi, 10 meters
CM L. B. Cebik, W4RNL
CE
GW 1 13 -2.5816 0 6.096 2.58166 0 6.096 .000512
GW 2 13 -2.7495 -1.7907 6.096 2.74954 -1.7907 6.096 .000512
GW 3 13 -2.4384 1.4731 6.096 2.4384 1.4731 6.096 .000512
GW 4 13 -2.4193 1.3207 6.096 2.4192 1.3207 6.096 .000512
GW 5 13 -2.4003 5.46101 6.096 2.4003 5.4611 6.096 .000512

```

```

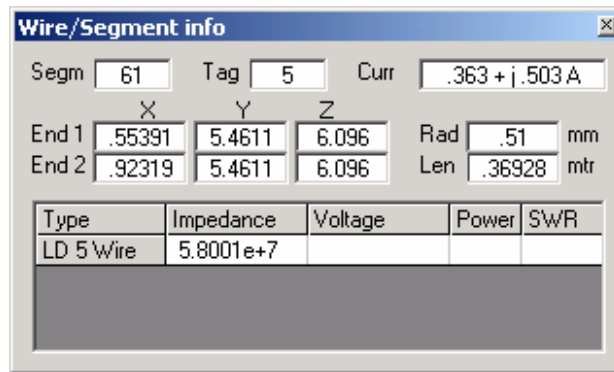
GW 6 13 -2.3875 7.8739 6.096 2.3875 7.8739 6.096 .000512
GW 7 13 -2.3685 10.1346 6.096 2.36854 10.1346 6.096 .000512
GE 1
'
GN 2 0 0 0 15 .002 0 0 0 0
'
EX 0 1 7 0 1 0
'
LD 5 1 1 13 5.8001E7
LD 5 2 1 13 5.8001E7
LD 5 3 1 13 5.8001E7
LD 5 4 1 13 5.8001E7
LD 5 5 1 13 5.8001E7
LD 5 6 1 13 5.8001E7
LD 5 7 1 13 5.8001E7
'
SY fr = 28.5
FR 0 1 0 0 fr 0
'
EN

```

Man drückt F7, um die NEC2-Maschine zu starten. Dabei muss man beachten, dass eines der NEC2-Hauptfenster aktiviert ist. Es erscheint ein neues Fenster (,Generate'). In diesem Fenster können mehrere Berechnungsoptionen ausgewählt werden. Man startet mit dem ersten, ,use original file', und klickt dann auf den ,Generate-'Button. Nun sieht man eine schwarze DOS-Box, die anzeigt, dass die NEC2-Maschine läuft.

Falls Fehler auftreten, so werden sie an dieser Stelle angezeigt. Um die fehlerbehafteten Leitungen/ Segmente hervorzuheben, wählt man im ,Geometry'-Fenster ,Show - Validate' aus.

Um mehr Informationen bezüglich der Segmente zu erhalten, muss man das entsprechende Segment mit der linken Maustaste anklicken. Das ausgewählte Segment färbt sich nun blau und ist an beiden Enden mit einem Kreis abgeschlossen. Der geschlossene Kreis repräsentiert das 1. Ende, wohingegen der offene Kreis das 2. Ende andeutet. Es erscheint ein neues Fenster, das sog. ,wire/ segment info'-Fenster. Unter ,Show – Wire/ Segment' erhält man dieselben Informationen.



**Abb. 4:** Informationen über Wire und Segment

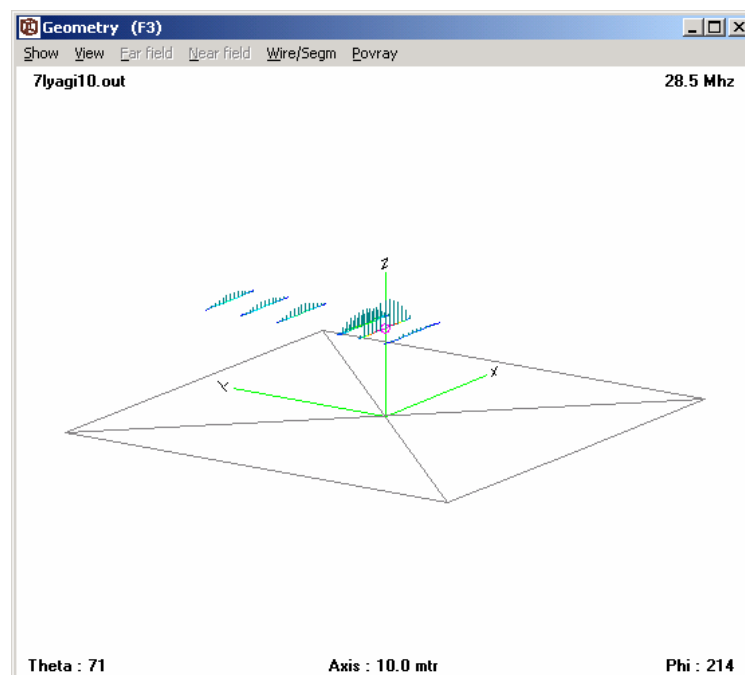
Um alle Segmente darzustellen, muss man im ‚Geometry‘-Fenster ‚S‘ drücken oder unter ‚Show – Wire/Segment‘ auswählen.

Um die offenen Enden zu sehen, muss man ähnlich vorgehen. Entweder man drückt ‚E‘ oder wählt ‚Show – Open Ends‘.

Die Stromverteilung entlang der Antenne erhält man durch ‚C‘ bzw. ‚Show – Current‘. Eine weitere Möglichkeit ist ‚Show – Single/Multi color‘ bzw. ‚M‘. Diese Darstellung wird meist für komplexe Antennenstrukturen verwendet.

Die Phasenverteilung kann man durch drücken der Taste ‚P‘ oder durch ‚Show - Phase‘ anzeigen lassen.

Falls detaillierte Informationen bezüglich der Segmente ausgewählt wurden, wird der Strom des entsprechenden Segmentes angezeigt. Mit ‚X‘ oder ‚Wire/Segm – Polar/Cartesian‘ kann man zwischen der Polar- und der kartesischen Darstellung des Stromes auswählen.



**Abb. 5:** Stromverlauf auf einer Yagi-Antenne

### 6.3 Fernfeld, 2D Polar- und 3D Fernfeld-Richtdiagramme

Um ein Fernfeld-Richtdiagramm zu erzeugen, muss man F7 drücken und die zweite Option ‚Far-field Pattern‘ auswählen. In der unteren Hälfte des ‚Generate‘-Fensters erscheinen neue Eingabefelder. Sie bestimmen die Auflösung des Richtdiagramms und bieten die Möglichkeit, die Oberflächenwelle (‚Add Surf-wave‘) in ein gemeinsames Richtdiagramm mit einzubeziehen.

Durch das Drücken des ‚Generate‘-Buttons wird die NEC2-Maschine gestartet und die Ausgabedaten erzeugt. Nach den Berechnung erscheint ein neues Fenster (‚Pattern‘). Hier wird das Richtdiagramm zweidimensional dargestellt. Mit Hilfe der Pfeiltasten können verschieden Werte für die Winkel  $\varphi$  und  $\vartheta$  ausgewählt werden. Hierbei ist sehr gut die Strahlungscharakteristik in Abhängigkeit des entsprechenden Winkels zu sehen. Mit Hilfe der Taste ‚G‘ oder ‚Show - Structure‘ kann die Struktur der Antennen in das Diagramm mit einbezogen werden.

Für die 3D-Darstellung muss man im ‚Geometry‘-Fenster die Taste ‚R‘ drücken oder unter ‚Show‘ die Option ‚Near/Far field‘ auswählen. Mit Hilfe der linken Maustaste und der Pfeiltasten kann man die 3D-Darstellung bewegen, rotieren lassen und vergrößern. Wenn man nun wieder in das ‚Pattern‘-Fenster wechselt, verändert sich die Farbe der 3D-Darstellung und die 2D-Richtcharakteristik für den entsprechenden Winkel ( $\varphi$  oder  $\vartheta$ ) wird rot hervorgehoben. Diese Darstellung ist sehr hilfreich beim Verständnis des Richtdiagramms.

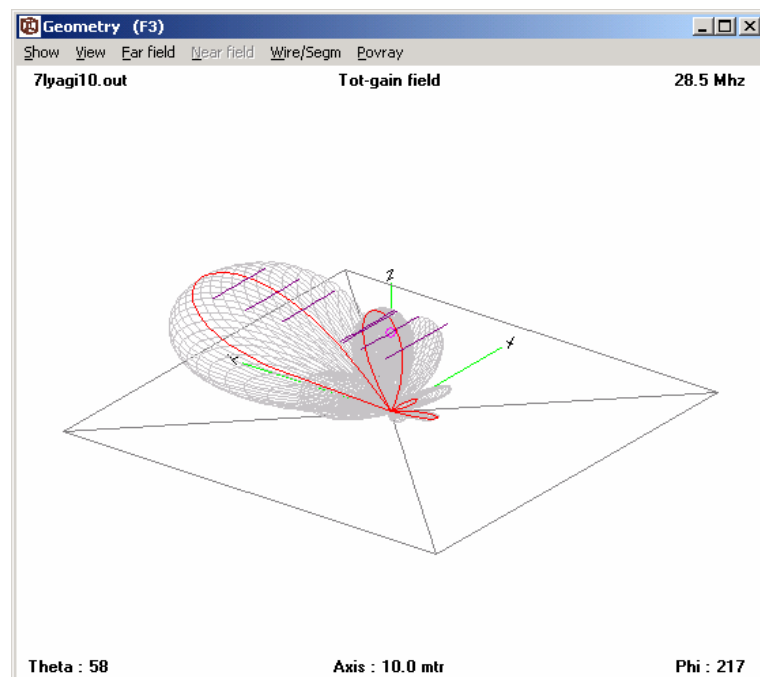
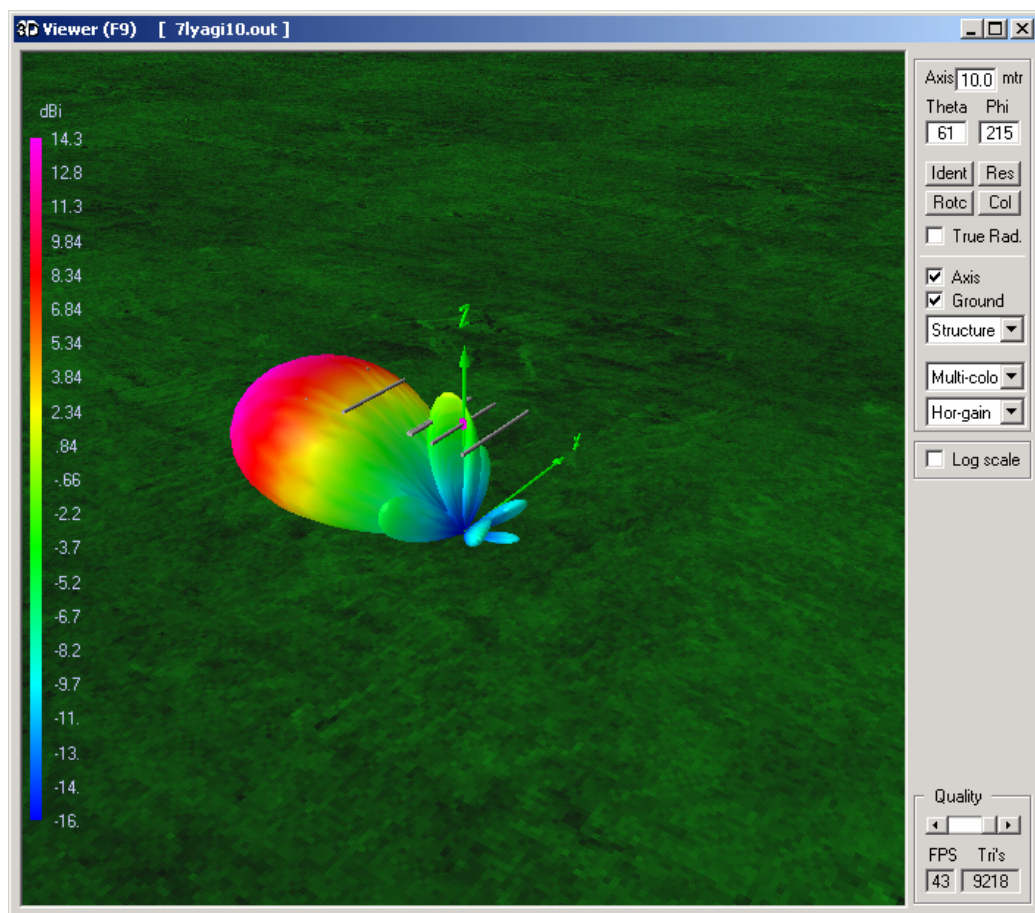


Abb. 6: Richtcharakteristik einer Yagi-Antenne

Im ‚Pattern‘-Fenster kann man mit Hilfe der ‚L‘-Taste zwischen linearer und logarithmischer Darstellung wechseln.

Unter ‚Show - Info‘ (oder einfach ‚I‘) erhält man zusätzliche Informationen bezüglich des maximalen Gewinns, des Vor-Rück-Verhältnisses und der Halbwertsbreite.

Um weitere Richtdiagramme darzustellen, wählt man unter ‚Show – Next (Prev) pattern‘ aus. Falls man 4NEC2X gestartet hat, so kann man die Fernfeld-Daten in dreidimensionaler Perspektive anschauen. Dazu benutzt man den ‚3D-viewer (F9)‘.



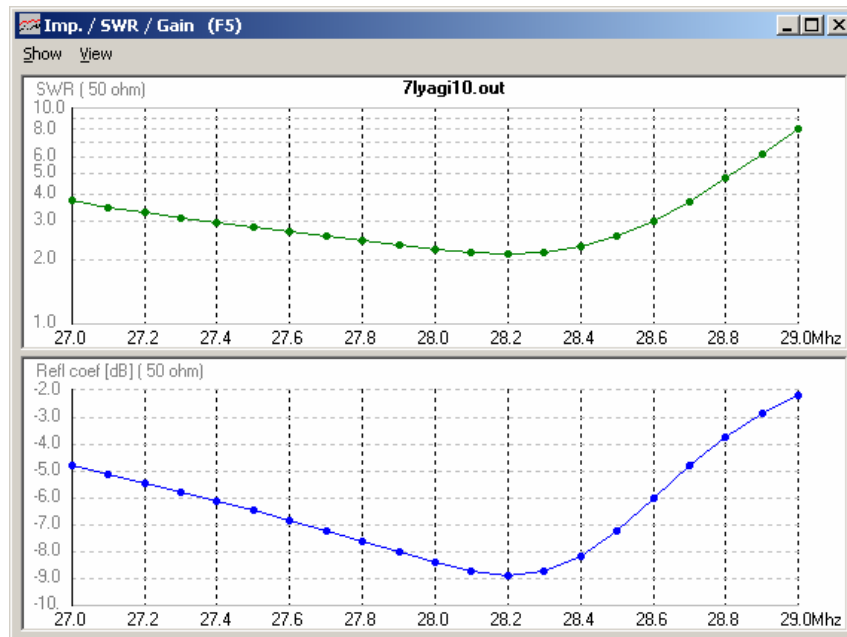
**Abb. 7:** Richtcharakteristik einer Yagi-Antenne (mit 3d-viewer)

## 6.4 Erzeugung einer Frequenzschleife

Um eine Frequenzschleife zu erzeugen, muss man im ‚Generate‘-Fenster (F7) die Option ‚use frequency loop‘ auswählen. Nun kann man die Werte für die Startfrequenz, die Endfrequenz und die Schrittweite eingeben. Nach dem Starten werden Graphen für Gewinn, Vor-Rück-Verhältnis, Stehwellenverhältnis (SWR) und Eingangsimpedanz erzeugt. Es erscheint ein neues Fenster, das sog. ‚Imp. / SWR / Gain‘- oder einfach ‚Impedance‘-Fenster. Hier kann man zwischen ‚S‘ (SWR), ‚G‘ (Gewinn) und ‚I‘ (Impedanz) wählen. Mit Hilfe der ‚L‘-Taste hat man die Möglichkeit zwischen linearer und logarithmischer

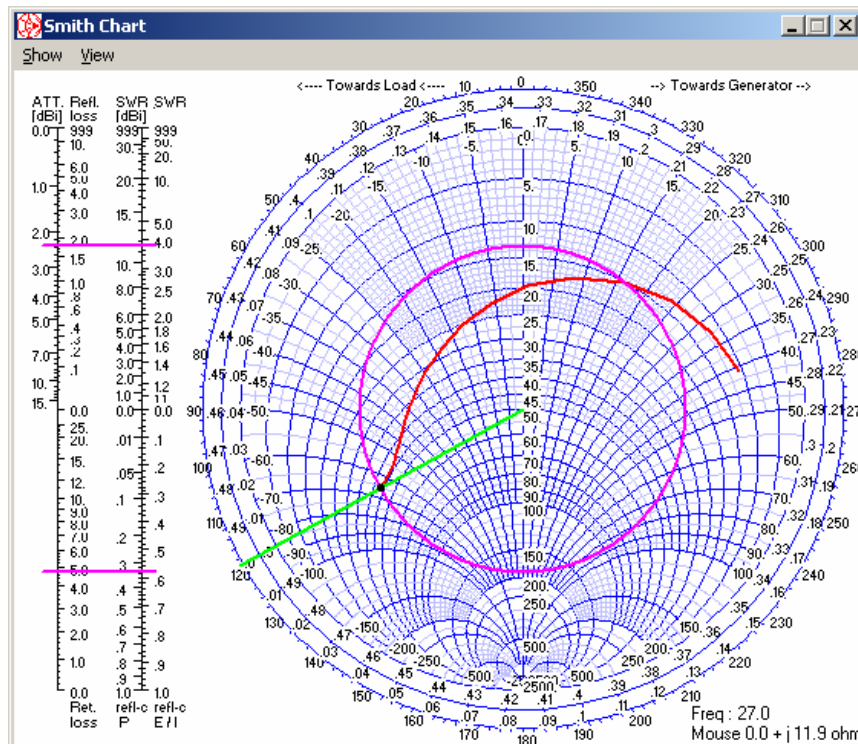


Darstellung der y-Achse hin- und herzuschalten. Um die Darstellung der x-Achse zu verändern, benutzt man die Taste ‚F‘. Im Grundzustand werden die Graphen des  $SWR$ ,  $R_{in}$  und  $Z_{in}$  logarithmisch, die anderen linear dargestellt.



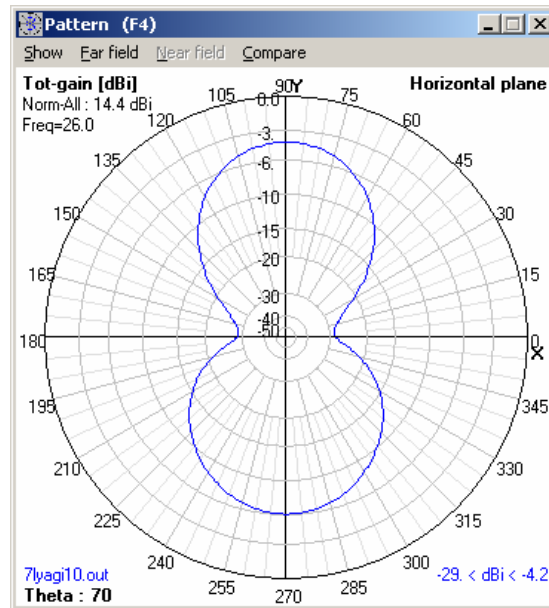
**Abb. 8:** Stehwellenverhältnis (SWR) und Reflexionsfaktor einer Yagi-Antenne

4NEC2 kann die Eingangsimpedanz auch mit Hilfe eines Smith-Diagramms darstellen. Hierzu drückt man F11. Um eine bestimmte Frequenz auszuwählen, kann man die Pfeiltasten verwenden.

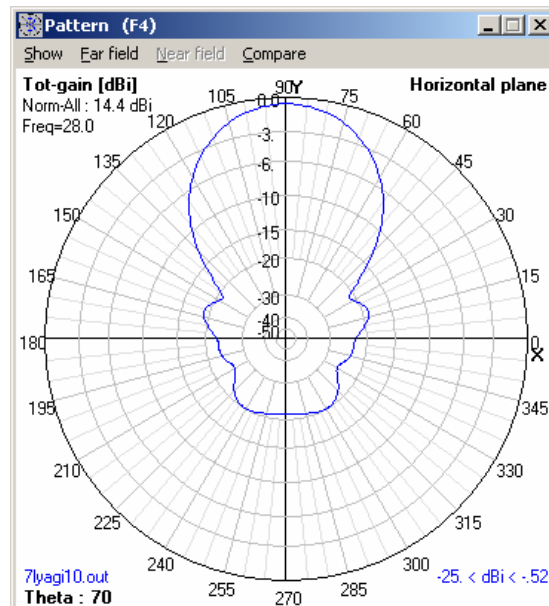


**Abb. 9:** Eingangsimpedanz im Smith-Diagramm

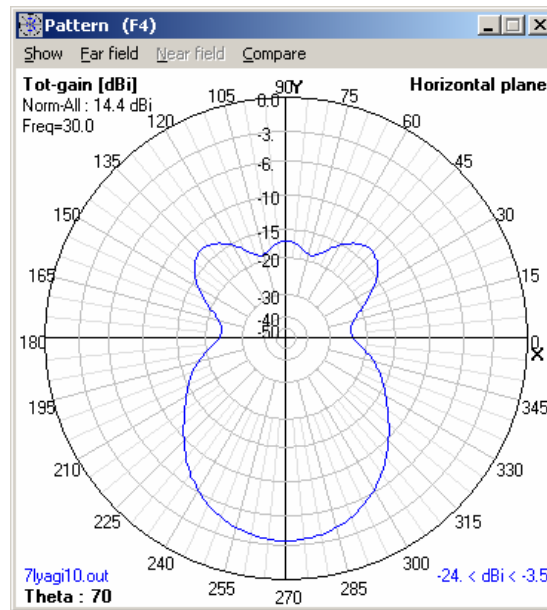
Um zum Beispiel die Veränderungen des horizontalen Richtdiagramms bei Frequenzen zwischen 26 und 30 MHz darzustellen, drückt man F7, wählt ‚use frequency loop‘ aus und stellt ‚Hor.‘ für horizontal ein. Man gibt 26 und 30 für die Start- und Stoppfrequenz sowie 1 für die Schrittgröße ein. Nun stellt man für  $\vartheta$  jeweils  $70^\circ$  und für  $\phi$   $90^\circ$  vorwärts und  $270^\circ$  rückwärts ein. Nachdem man ‚Generate‘ gedrückt hat und die Berechnungen abgeschlossen sind, kann man mit Hilfe der Pfeiltasten (links und rechts) den eingegebenen Frequenzbereich durchschreiten. Abb. 18 zeigt drei Beispiele:



(a)



(b)



(c)

**Abb. 10:** Veränderung des Richtdiagramms während einer Frequenzschleife

(a) 26 MHz - (b) 28 MHz - (c) 30 MHz

Tip: Man wählt die Nec2dSX-Maschine für eine größere Genauigkeit aus, wenn man eine Frequenzschleife mit dem ‚SomNec‘-Boden durchführen will.

## 6.5 Optimierung der Antenneneigenschaften

Um überhaupt eine Optimierung vornehmen zu können, muss das entsprechende nec-File ein Symbol ‚SY‘ besitzen. Hier wird als Beispiel eine Groundplane-Antenne verwendet:

```

CM Groundplane-Antenne
CE Erstellt in 4NEC2 am 11. Dez. 2003 von Tobias Renk (nach Vorlagen)
'
SY len1 = 0.5
SY len2 = 1
SY len3 = 1.5
'
GW 1 5 len1 0 len2 0 0 len2 0.1in/ft
GW 2 5 0 -len1 len2 0 0 len2 0.1in/ft
GW 3 5 0 len1 len2 0 0 len2 0.1in/ft
GW 4 5 -len1 0 len2 0 0 len2 0.1in/ft
GW 5 5 0 0 len2 0 0 len3 0.1in/ft
'
GS 0 0 ft
GE 1
EX 0 5 1 0 1 0 ' Voltage source (1+j0) at wire 5 segment 1.

```

GN	0	0	0	0	13	.005
FR	0	1	0	0	300	
EN						

Es erfolgt nun eine Optimierung der Länge hinsichtlich der Resonanz. Man drückt hierzu F12. Es erscheint das ‚Optimizer and Evaluator‘-Fenster. Um den gewöhnlichen Optimierer zu verwenden, gibt man ‚Optimize‘ in die Funktionsbox und ‚Default‘ in die Optionsbox ein. Nun wählt man zum Beispiel die Variable ‚len3‘ aus. Die Variable erscheint in der rechten Box (‚Variable Sensivity‘, ‚Variable Values‘).

Weiterhin muss ein (oder mehrere) Antennenparameter (und ihre Gewichtung) zur Optimierung ausgewählt werden. Man schreibt den Wert 100 in die ‚X-a‘-Box, um auf Resonanz zu optimieren. Das bedeutet, dass nur die reaktive Komponente (*reactive component*) optimiert werden soll. Um Resonanz zu erzeugen, muss diese Komponente minimiert werden (Standardeinstellung. Sie kann, falls gewünscht, durch Klicken in das entsprechende Fenster mit der rechten Maustaste geändert werden). Man überprüft, ob alle anderen Parameter auf Null gesetzt sind. Man startet die Optimierung, indem man ‚Start‘ drückt. Im Fenster ‚Calculated results‘ werden die Berechnungsergebnisse aufgelistet. Nach den Berechnungen kann man die Variable oder den Parameter ändern und mit Hilfe von ‚Resume‘ eine neue Optimierung starten. Falls die Ergebnisse zufriedenstellend sind, können sie mit ‚Save results‘ übernommen werden. Um den Optimierer ohne Speicherung der Änderungen zu verlassen, verwendet man den ‚Exit‘-Button.

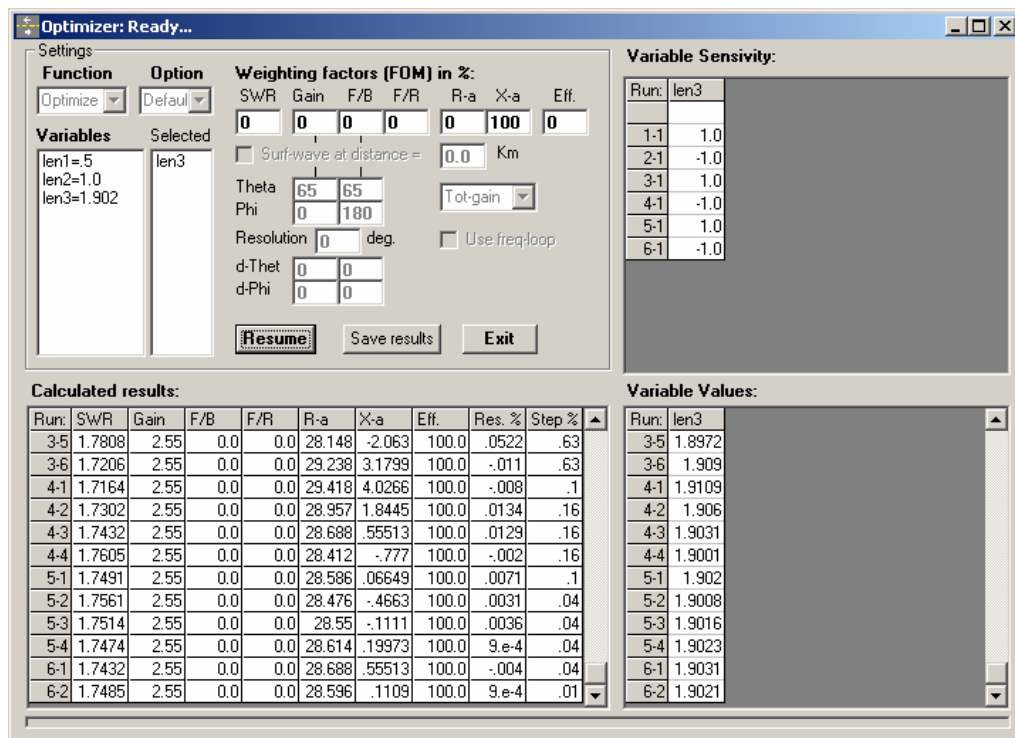


Abb. 11: Optimizer-Fenster

Auf die gleiche Weise kann man die Vorwärtsverstärkung, das Vor-Rück-Verhältnis usw. optimieren. Falls mehrere Parameter ausgewählt werden, so muss man ebenfalls die Vorwärtsverstärkung und den Rückwärtsverstärkungswinkel, für den die Berechnungen durchgeführt werden sollen, angeben.

Am meisten wird die Gesamtverstärkung optimiert. Es ist jedoch möglich, die Horizontal-/Vertikal-Verstärkung oder  $E_g/E_\phi$  zu optimieren. Eine Optimierung mit einbezogener Oberflächenwelle ist ebenfalls möglich.

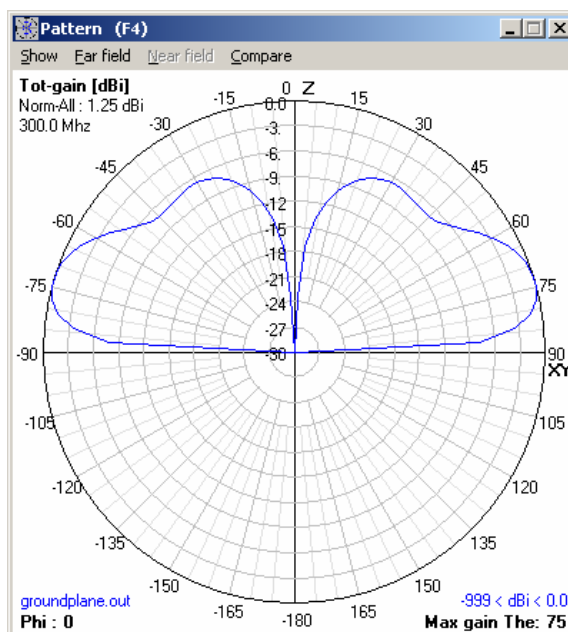
Die Änderungen der Variablen werden direkt im ‚Geometry‘-Fenster übernommen. Falls eine Verstärkungsoptimierung bei einer Auflösung ungleich Null durchgeführt wurde, so sind die Änderung der Fernfeld-Richtcharakteristik im ‚Geometry‘-Fenster (falls die 3D-Darstellung gewählt wurde) und im ‚Pattern‘-Fenster zu sehen.

## 6.6 Evaluierung der Antenneneigenschaften

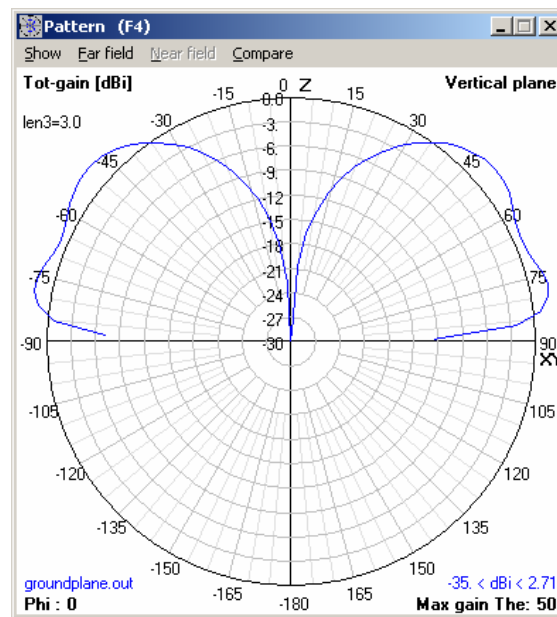
Der ‚Evaluator‘ kann dazu verwendet werden, die Auswirkungen einer Variablenänderung graphisch darzustellen. Dazu startet man den ‚Optimizer‘ (F12) und stellt in der Funktionsbox (links oben) ‚Evaluate‘ ein. Die zu optimierenden Parameter werden jetzt durch ‚Delta variable changes in %‘ ersetzt und eine neue Eingabebox (‚Nr of steps‘) wird eingeblendet. Des Weiteren kann man nun im Optionsfenster zwischen dem horizontalen oder dem vertikalen oder dem 3D-Richtdiagramm wählen.

Man klickt die Variable ‚len3‘ an, um die Auswirkungen darzustellen, die sich bei einer Änderung dieser Variable von 1.5 m auf 3 m ergeben. Die Variable wird nun in die Liste ‚Delta variable changes in %‘ eingetragen. Man aktiviert oben rechts das Feld ‚Abs step‘. Nun ändert man die Variablenveränderung auf 0.15. Bezüglich der Schrittweite ergibt sich ein Standardwert von 10. Das bedeutet, dass nun jeweils 10 Schritte mit einer Schrittweite von 0.15 m durchgeführt werden.

Im Anschluss setzt man die Werte für  $\theta$  und  $\phi$  auf  $65^\circ$  und  $0^\circ$ . Für diese Angaben wird nun die Verstärkung berechnet. Man stellt beispielsweise eine Auflösung (‚Resolution‘) von  $3^\circ$  ein. (Eine Auflösung von Null würde zwar die Evaluierungsgeschwindigkeit steigern, nachteilig wäre jedoch, dass kein Richtdiagramm berechnet wird). Mit dem ‚Start‘-Button wird die Berechnung gestartet.



(a)



(b)

**Abb. 12:** Richtdiagramm einer Groundplane-Antenne

(a) vor der Evaluierung – (b) nach der Evaluierung

Die Ergebnisse der Berechnungen (z. B. Stehwellenverhältnis  $SWR$ , Verstärkung, Vor-Rück-Verhältnis,  $R_{in}$ , Wirkungsgrad, ...) werden in der Box ‚Calculated results‘ aufgelistet. Das jeweilige Richtdiagramm wird bei jeder Berechnung im ‚Pattern‘- oder ‚Geometry‘-Fenster erneuert.

Nach den Berechnungen kann man neue Variablen auswählen, die Schrittweite ändern, eine bessere Auflösung wählen ... und die Evaluierung erneut starten (‚Restart‘) oder den ‚Evaluator‘ verlassen (‚Exit‘).

Wenn das Fenster geschlossen ist, werden alle Daten der letzten Evaluierungsberechnung im ‚Impedance‘-Fenster dargestellt.

Dabei muss immer beachtet werden, dass die Ergebnisse einer Evaluierung nur im Speicher abgelegt werden, und nicht in einem .nec2 Output File. Falls man also 4NEC2 verlässt oder ein anderes File öffnet, dann werden die Daten gelöscht.

## 6.7 Nahfeldanalyse

Um eine Nahfeldanalyse vornehmen zu können, muss man im ‚Generate‘-Fenster (F7) die Option ‚Use original file‘ auswählen. Dann muss der Programmcode aber bereits eine NE-Karte besitzen (vgl. Absatz Grundlegende Befehle). Ist dies nicht der Fall, so kann man

durch die Option ‚Near Field Pattern‘ direkt die Grenzen bezüglich der Kalkulation eingeben.

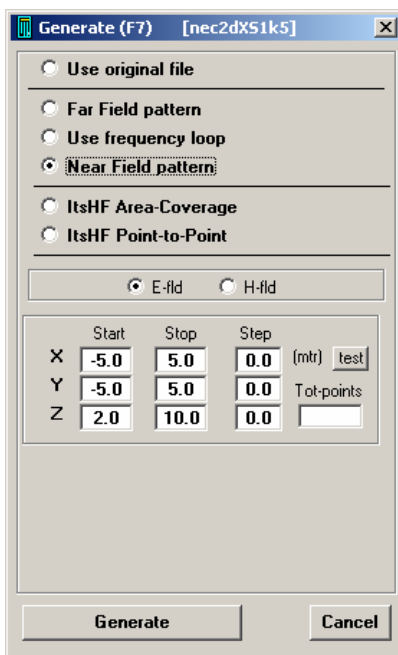


Abb. 13: Generate-Fenster

Nach den Berechnungen wird das Nahfeld im ‚Pattern‘-Fenster dargestellt. Die linke Farbleiste zeigt an, welche Feldstärke durch welche Farbe repräsentiert wird.

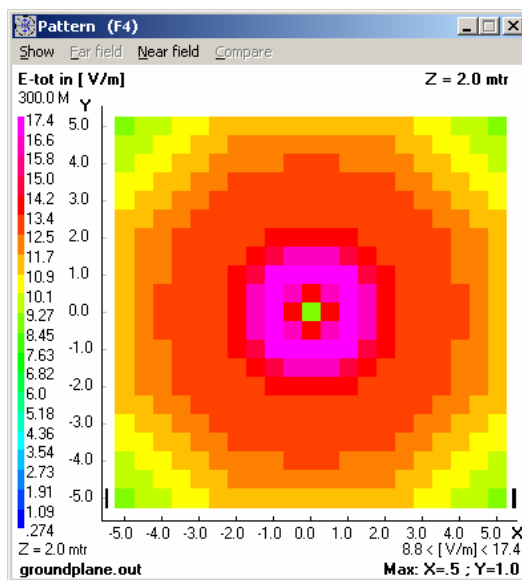


Abb. 14: Nahfeldanalyse

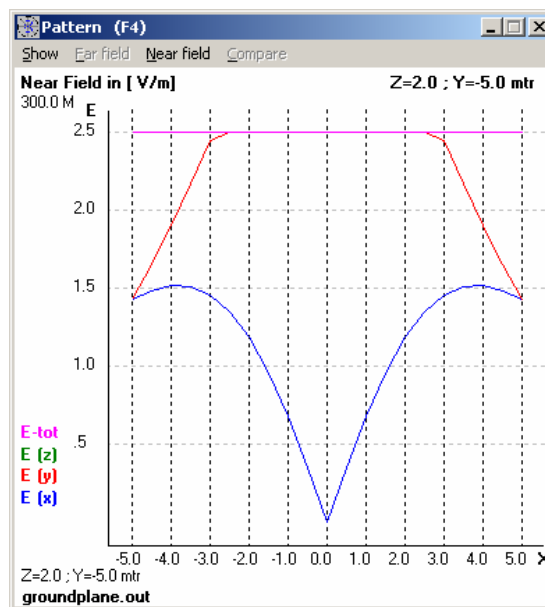
Unter ‚Near-field‘ ‚Maximize high-val’s‘ kann der Wert der maximalen Feldstärke eingegeben werden. Dadurch ist es möglich, interessierende Bereiche besser darzustellen. Die Farbleiste wird entsprechend aktualisiert. Mit der Kombination ‚Show‘ und ‚Geometry‘ (oder einfach die Taste ‚G‘), kann die geometrische Struktur angezeigt werden.



Standardmäßig wird die Feldstärke in der XY-Ebene für eine bestimmte Z-Koordinate angezeigt. Um den Wert der Z-Koordinate zu verändern, verwendet man die linke bzw. rechte Pfeiltaste. Um zwischen der XY-, der YZ- oder der XZ-Ebene hin- und herzuwechseln, benutzt man die Leertaste.

Man kann die Nahfeld-Daten auch auf der geometrischen Darstellung anzeigen lassen. Hierfür stellt man unter ‚Show‘ ‚Near/far field‘ ein oder drückt die ‚R‘-Taste. Mit Hilfe der Leertaste kann man nun zwischen einer dreidimensionalen oder einer zweidimensionalen Darstellung auswählen. Die Kombination ‚Shift‘ und Pfeiltaste(n) erlaubt es, die 2D-Koordinaten zu verändern.

Im ‚Pattern‘-Fenster befinden sich auf der rechten und der linken Seite zwei kleine schwarze Balken. Diese Linien werden dazu verwendet, um einen bestimmten Y- oder Z-Wert auszuwählen, um die Feldstärke als Graphen darzustellen. Man benutzt die Pfeiltasten, um die Position, und die ‚Page-Up‘/ ‚Page-down‘-Tasten, um zwischen zweidimensionaler Ansicht und dem Graphen zu wechseln.



**Abb. 15:** Nahfeldanalyse (2-dimensional)

In 4NEC2X ist es ebenfalls möglich, mit Hilfe des ‚3D-viewer‘ (F9) die Fernfeld-Daten in dreidimensionaler Perspektive darzustellen.