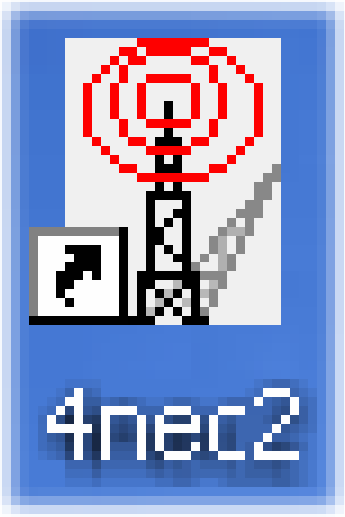
Simulation von Drahtantennen mit 4NEC2 (ab Version 5.8.8)



Ein Tutorial für Neu-Einsteiger
Version 2.0

Autor:
Gunthard Kraus, Oberstudienrat

Berater:
Hardy Lau, Dipl.-Ing (DH)
Duale Hochschule Baden Württemberg (DHBW), Friedrichshafen

Email: mail@gunthard-kraus.de

20. Mai 2012

Inhaltsverzeichnis **Seite**

1. Einführung 3

2. Installation 4

3. Der Start 4

4. Geometry Builder, Geometry Editor oder Texteditor zur Erstellung des NEC-Files? 5

5. Einstieg über das mitgeliefertes Beispiel „example2.nec“ (300MHz-Dipol) **6**

- **5.1. Simulation des Fernfeldes** 6
- **5.2. Die farbige 3D-Darstellung** **8**
- **5.3. Ein Blick in das NEC-File mit dem Notepad-Editor** **11**
- **5.4. Der 4NEC2-Editor für die Arbeit mit dem NEC-File** **13**
  - 5.4.1. Das Arbeiten mit dem alten 4NEC2-Editor 13
  - 5.4.2. Der neue 4NEC2 – Editor 13
- **5.5. Die Simulation des Nahfeldes** **15**
- **5.6. Sweep des SWR und der Eingangs-Reflektionsfaktors** **16**

6. Erstes eigenes Projekt: 300MHz-Dipol über realistischem Boden **17**

- **6.1. Änderungen im NEC-File** **17**
- **6.2. Fernfeld-Simulation** **19**
- **6.3. Nahfeld-Simulation** **20**
- **6.4. Sweep von SWR und Eingangsreflektion** **21**

7. Zweites Projekt: 300MHz-Dipol mit dicken Antennenstäben **22**

- **7.1. Die Sache mit dem Drahtradius und dem dicken Draht** **22**
- **7.2. Das Fernfeld und das Nahfeld** **23**
- **7.3. Sweep von SWR und Eingangsreflektion** **24**
- **7.4. Sweep des Antennengewinnes („gain“)** **24**
- **7.5. Sweep der Eingangsimpedanz** **26**

8. Ein tolles Spielzeug: die Smithchart-Maschine **27**

9. Optimieren (Taste F12) **28**

- **9.1. Optimierung der Antennenlänge für den dicken Dipol aus Kapitel 7** **28**
- **9.2. Der Parameter-Sweep** **30**
  - 9.2.1. Eingangsimpedanz für unterschiedliche Antennenhöhen 30
  - 9.2.2. Farfield Pattern für unterschiedliche Antennenhöhen 32

10. Drittes Projekt: Geometry Builder oder Texteditor für den Entwurf einer Helix-Antenne? **33**

- **10.1. Einige Worte zur untersuchten Helix-Antenne** **33**
- **10.2. Entwurf mit dem Geometry Builder** **34**
- **10.3. Simulation des Fernfeldes** **35**
- **10.4. Frequency Sweep von Gain und Impedanz** **35**
- **10.5. Dasselbe nochmals, aber ab jetzt immer mit dem Notepad-Texteditor** **36**
- **10.6. Nochmals: Simulation des Fernfeldes** **38**
- **10.7. Nochmals: Frequency Sweep von Gain und Impedanz** **39**
- **10.8. Speisung der Antenne über ein kurzes Drahtstück** **39**

Anhang: Kurze Übersicht der wichtigsten „Cards“ zum Nachschlagen **42**

1. Einführung

Mit **NEC** (= **Numerical Electric Code**) bezeichnet man eine vom Lawrence Livermore Labor im Jahre 1981 für die Navy entwickelte Simulationsmethode zur Analyse von Drahtantennen. Dabei wird die Antenne in sehr kurze Stücke = „segments“ zerlegt, auf denen sich der Strom und die Spannung (fast) nur linear ändern (Vergleiche SPICE bei der Schaltkreis-Simulation). Damit lassen sich erstaunlich genaue Simulationen durchführen. Der Standard -- für den es sehr viele, auch kostenlose, Anwendungssoftware gibt -- ist **NEC2.**
Die Entwicklung ist natürlich weitergegangen und die Schwächen von NEC2 (z. B. falsche Berechnung von Strukturen mit sich sehr nahe kreuzenden oder im Boden verbuddelten Drähten) wurden erst mit NEC4 verbessert. Aber: NEC4 war bis vor kurzer Zeit für den Export gesperrt und galt früher als geheim. Heute ist es auch außerhalb der USA erhältlich, kostet aber eine hübsche Stange Geld (normalerweise so ab 2000$). Also begnügt man sich als normaler Mensch (= kleiner Geldbeutel) mit NEC2 und hat dafür die Qual der Wahl bei der Auswahl des geeigneten Programms mit der passenden Bedieneroberfläche für NEC2 aus dem Internet. Da gibt es Einiges, aber **durchgesetzt haben sich hier EZNEC (kostet aber etwas) und besonders 4NEC2 (= kostenlos).**

Speziell 4NEC2 ist eine sehr aufwendige grafische Oberfläche mit vielen zusätzlichen Optionen (bis hin zur farbigen 3D-Darstellung der Ergebnisse). Es wurde von Arie Voors programmiert, um die Handhabung von NEC2 zu vereinfachen, und dabei wurde auf die Optimierungsmöglichkeiten samt Parameter-Sweep großen Wert gelegt. 4NEC2 findet sich im Internet und es darf kostenlos herunter geladen werden. Früher galt es, zwei Software-Pakete (4NEC2 und 4NEC2) nacheinander in dasselbe Verzeichnis zu installieren, wenn man die 3D-Darstellung verwenden wollte. **Seit Ende 2010 ist das vorbei, denn jetzt ist das alles zusammengefasst und es reicht die Installation der neuesten 4NEC2-Version.**

Doch jetzt noch ein Wort in eigener Sache:
4NEC2 ist unglaublich aufwendig programmiert und bietet unendlich viele Möglichkeiten. Deshalb kann dieses Tutorial nur eine Tür öffnen und den Einsteiger an der Hand nehmen, um ihm die wichtigsten Dinge zu zeigen. Nach dem Durcharbeiten dieses Manuskriptes hat er sich vermutlich „etwas freigeschwommen“ und Lust zum selbständigen Weiterstudium bekommen…aber das ist nötig und eine andere, neue Geschichte….

2. Installation des Programms

Nach dem Download (http://home.ict.nl/~arivoors/) wird ausgepackt und installiert. Das Programm ist kostenlos und es ist keine Lizenzierung nötig. Irgendwelche Bugs oder Verbesserungsvorschläge meldet man per Email an den Autor Arie Voors und dabei sollte man ihm auch für die kostenfreie Überlassung sowie die Mühe, die er sich in seiner Freizeit mit der Programmierung gemacht hat, Dankeschön sagen.

3. Der Start

Da klicken wir mal gleich auf den **4NEC2-Button** und werden meist von zwei Fenstern empfangen, nämlich

Main	**(Funktionstaste F2) und**
Geometry	**(Funktionstaste F3)**

Sobald man eine Simulation durchgeführt hat, braucht man ein oder zwei weitere Fenster, nämlich

Pattern	**(Funktionstaste F4)**	und bei Bedarf
Impedance / SWR / Gain	**(Funktionstaste F5)**.	

Da können wir uns gleich merken:

a) Alle Eingaben, Einstellungen und Änderungen sowie der Simulationsstart laufen über das **Main**-Fenster.

b) Die Geometrie (= das Aussehen) der Antenne entsprechend dem erzeugten NEC-File wird im **Geometry**-Fenster dargestellt.

c) Nah- oder Fernfeld-Simulationsergebnisse tauchen im **Pattern**-Fenster auf.

d) Und schließlich gibt es bei einem Sweep den **Impedanzverlauf oder das SWR oder Gain oder das Vor/Rück-Verhältnis etc. im letzten Fenster F5**.

4. Geometry Builder, Geometry Editor oder Texteditor zur Erstellung des NEC-Files?

Diese Frage muss sich der Benutzer stellen, da diese Möglichkeiten zur Verfügung stehen.
Es gilt:

a) Die Erstellung des NEC-Files ist mit dem **Geometry Builder** schon eine tolle Sache. Ob Patch-, Plane-, Box-, Helix-, Kugel-, Zylinder- oder Parabol-Struktur: für jede Konstruktion gibt es ein eigenes Menü mit eigenem Bildschirm und die Bedienung ist einfach. **Allerdings: es gibt nur diese begrenzte Anzahl an Strukturen und deshalb ist der Editor auf diese 7 Möglichkeiten beschränkt.**

b) Zur Erstellung von beliebigen Antennenstrukturen ist der **Geometry Editor** gedacht. Mit ihm hat man einen echten „Konstrukteursbildschirm" vor sich, auf dem man die Antennenstruktur in verschiedenen Ebenen oder als 3D-Ansicht darstellen lassen und bearbeiten kann. Viele Fenster oder Menüs dienen zur Eingabe der nötigen Daten. Das Ganze ist aber (laut Online-Hilfe) mehr zum „Einlernen" gedacht…

Bei den **nächsten drei Möglic**hkeiten haben wir es immer **direkt mit dem NEC-File** zu tun.
Bei Änderungen oder Optimierungen oder Evaluierungen sind nämlich zusätzliche Eingaben (z. B. Variablen oder Berechnungsvorschriften usw.) erforderlich. Die nimmt man hier mit **einem reinen Texteditor gleich im NEC-File** vor. Dazu muss man aber genau wissen, was jede Abkürzung, jede Zahl und jeder Buchstabe in jeder Zeile des NEC-Files bedeuten. Ist natürlich anstrengender und erfordert mehr Vorarbeit und Lernaufwand -- das ist das Los der Fortgeschrittenen. Eines sollte man sich aber gleich merken:

Alle Längenmaße in einem NEC-File sind IMMER in Metern angegeben…und man muss höchstens noch auf einen Skalierungsfaktor (= eigene card „GS") für die ganze Struktur achten…

Sehen wir uns das genauer an:

c) Beim **echten Texteditor (Notepad)** bearbeitet **man nur das reine NEC-File, tippt Textzeilen ein oder ändert sie.** Man muss also die Antenne vorher „im Kopf erstellen" und exakt wissen, in welcher Form alles formuliert wird.

**Das klingt schlimmer, als es ist und nach längerer Zeit kennt man die einzugebenden Zeilen fast automatisch (...oder man schnappt sich das File einer Musterantenne und ändert).
Dann ist man auch in der Lage, schnell und routiniert zu optimieren oder neue Ideen auszutesten. Deshalb ist diese Methode irgendwann die schnellste -- man kann sich das von den Experten bestätigen lassen, die im Lauf der Zeit nur noch so arbeiten….**

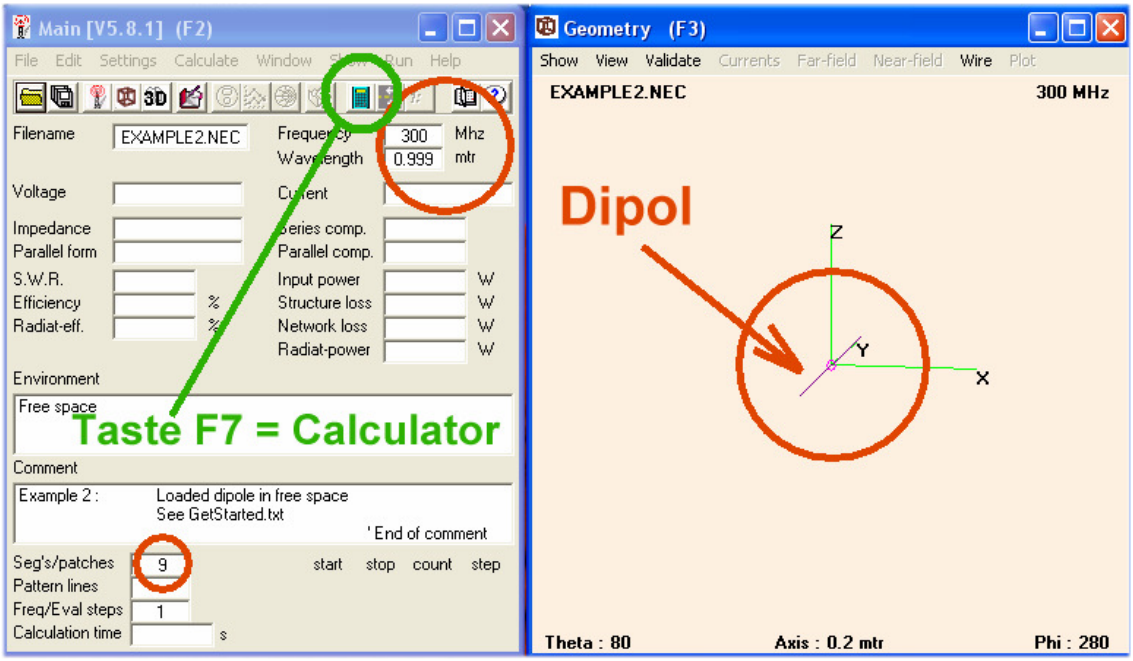
d) Etwas mehr Bequemlichkeit zeigt der **„alte 4NEC2 – Editor"**. Zwar hat man hier ebenfalls noch das NEC-File zur Bearbeitung vor sich, aber zusätzlich doch einige Buttons zum Anklicken und zur Erleichterung der Arbeit -- doch er scheint jetzt endgültig veraltet zu sein….

e) Der **„neue 4NEC2-Editor"** verwendet ein **System von Karteikarten mit entsprechenden Zeilen und Spalten** für die unterschiedlichen Einträge im NEC-File. Alles ist sauber getrennt und sortiert und angenehm zu bedienen. Auch Variable (Symbols) lassen sich definieren und einfügen -- aber das eigentliche File für die Simulation sieht man erst auf Wunsch und hat es nicht mehr direkt vor Augen. Der erfahrene Benutzer wird also nur noch entweder diesen Editor oder gleich den notepad-Editor für seine Arbeit verwenden. Im Lauf der kommenden Beispiele und Projekte werden alle diese Methoden mal zum Einsatz kommen. So kann man sich selbst ein Bild davon machen und anschließend das einsetzen, was einem besonders liegt.

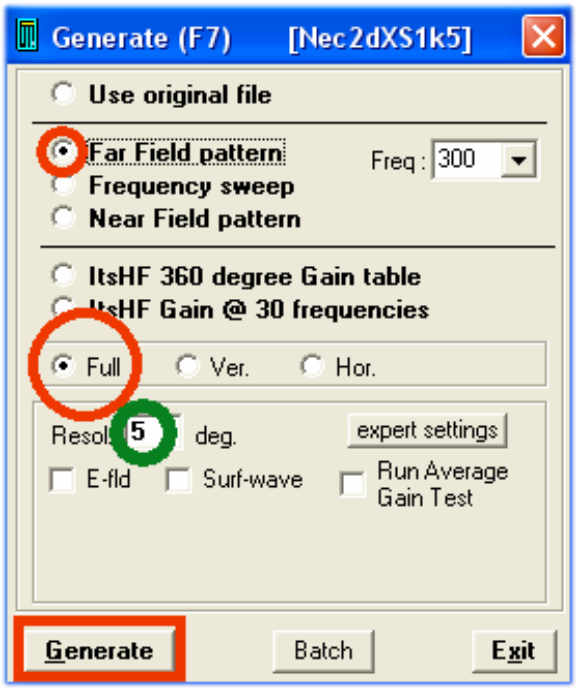
5. Einstieg über das mitgeliefertes Beispiel „example2.nec“ (300MHz-Dipol)

5.1. Simulation des Fernfeldes

Dieses Beispiel findet sich im Ordner „**models**“ und wird geöffnet.



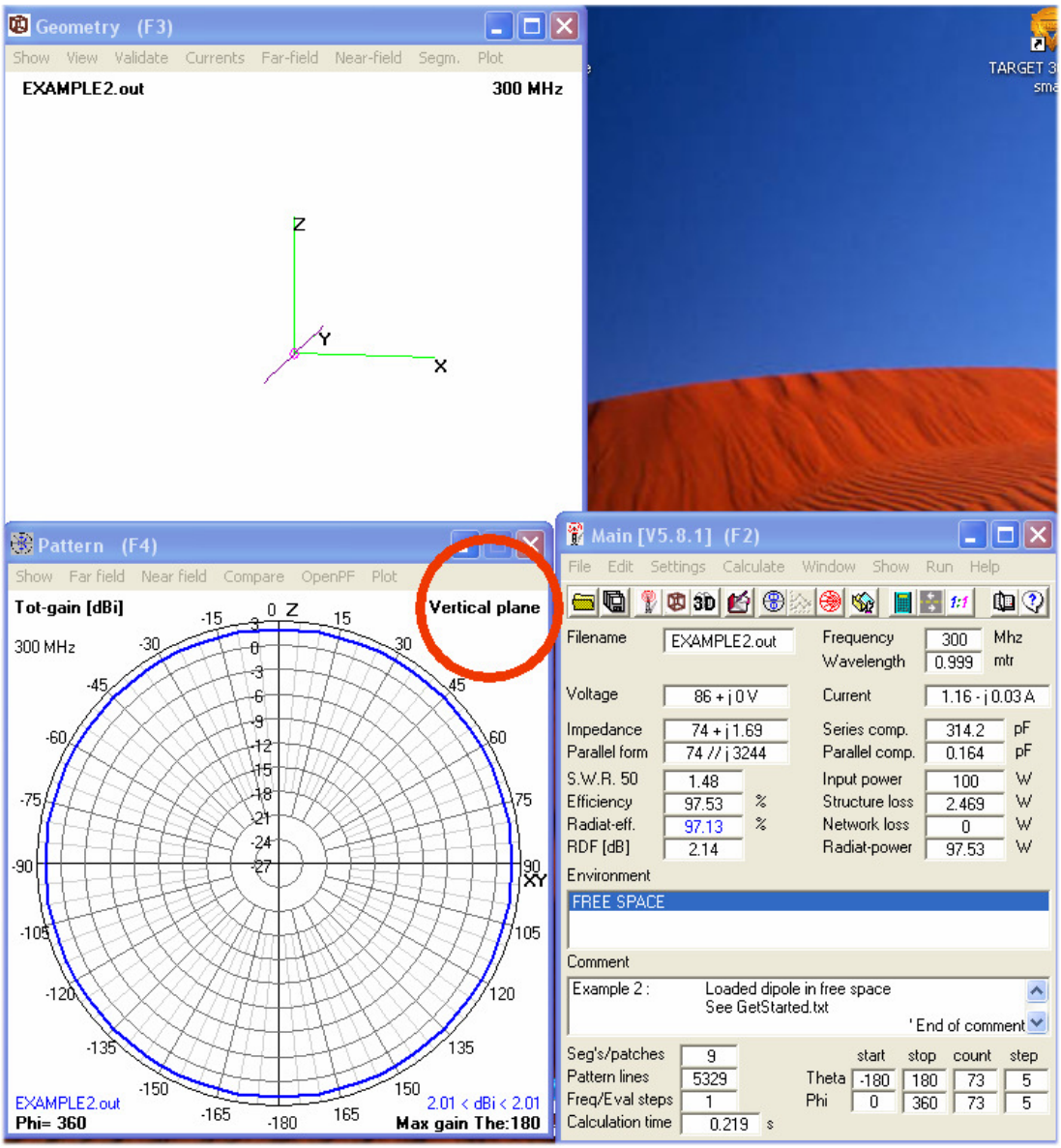
Im linken (= Main) Fenster finden sich im oberen roten Kreis die Frequenz bzw. Wellenlänge, bei der die Berechnung vorgenommen werden soll. Unten links sieht man, dass der Dipol in 9 Segmenten aufgeteilt ist und im rechten Bild hat man den Dipol im passenden Koordinatensystem vor sich.



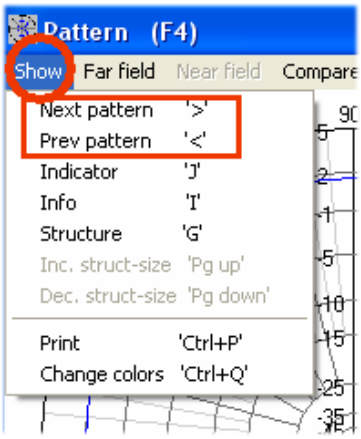
Grün gekennzeichnet ist die „**Calculator-Taste F7**“ in Form eines Taschenrechners, hinter der sich verschiedene Optionen verstecken. Die drücken wir einfach und wählen „**Far Field pattern**“ sowie „**Full**“ und „**Generate**“.

Eine Winkelauflösung („resolution“) von 5 Grad soll uns erst mal genügen -- das gibt kürzere Rechenzeiten….

Hier ist der Erfolg und wir sehen, dass sich im „main“-Window die ganzen Fenster mit den berechneten oder vorgegebenen Daten gefüllt haben. Zusätzlich wird nun auch automatisch „Pattern (F4)“ aktiviert und darin das Vertikale Richtdiagramm eingetragen.

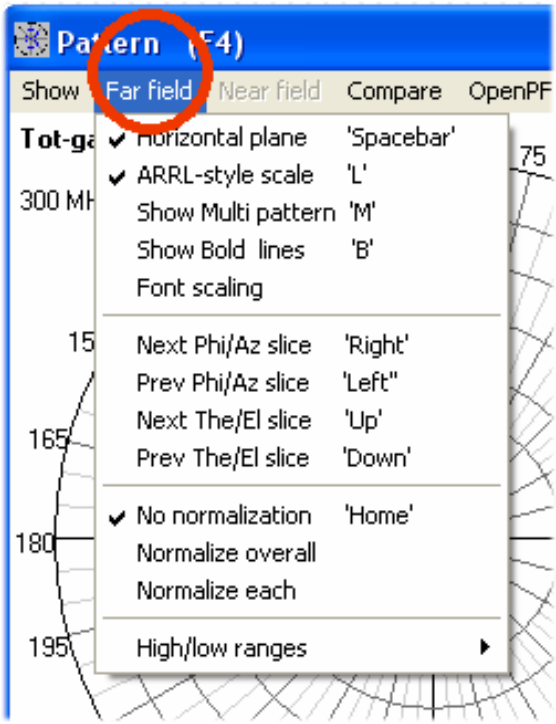


Doch jetzt gehen wir auf das „**Pattern-Window (F4)**“ los und sehen uns an, was sich dort hinter den linken beiden Menüs „**Show**“ und „**Far Field**“ versteckt:



Unter „Show“ haben wir die Möglichkeit, auf die **verschiedenen berechneten Pattern umzuschalten.**

Mit „**Indicator**“ kann man sich einen radialen „Cursor“ einblenden. Wenn man auf die Kurve an einer anderen Stelle klickt, schaltet sich dieser Cursor weiter und zeigt die Messwerte für diesen Winkel.



Unter „**Far Field**“ findet sich

a) die Umschaltung auf die **Horizontalen Richtdiagramme**

b) die Möglichkeit zur Anzeige im „**ARRL Style**“, also mit einer logarithmischen Teilung für die Amplitude und einer Automatik zur Bereichsdehnung. Dabei wird die Skalierung bei Bedarf so verändert, dass auch bei komplizierten Antennenformen und –Diagrammen die schwächsten „Nebenzipfel“ noch deutlich erkennbar sind.

c) Mit „**Multi Pattern**“ werden gleichzeitig alle zur Verfügung stehenden Diagramme für die gewählte Polarisations-richtung angezeigt.

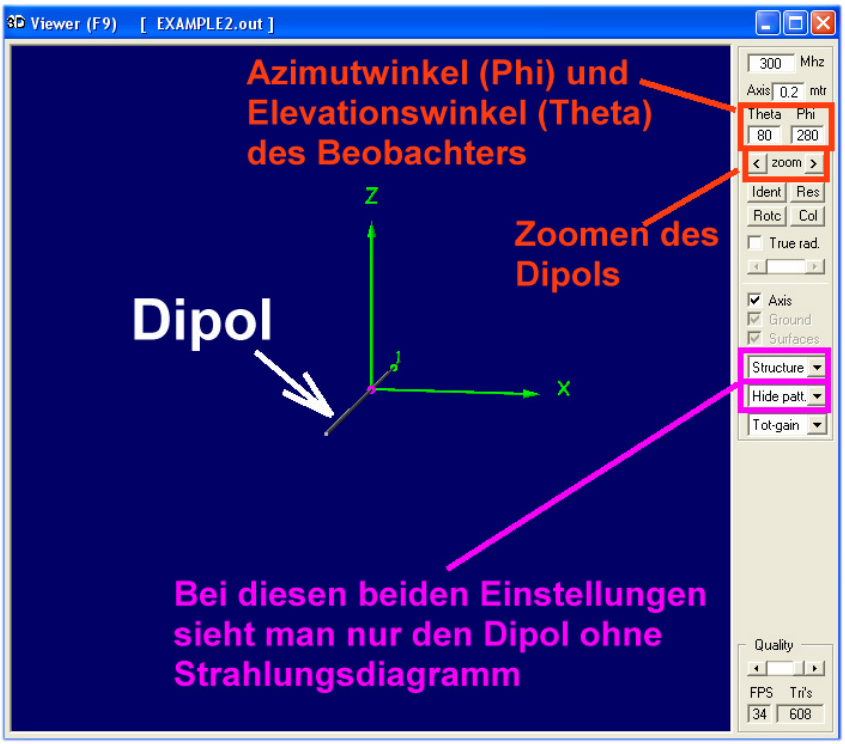
d) „Show **Bold lines**“ zeichnet die Kurven mit dicken Linien und

e) „**Font scaling**“ ermöglicht die Vergrößerung oder Verkleinerung der Ziffern bei der Skalenteilung.

f) Dann kommen die Möglichkeiten zur Umschaltung auf den **nächsten Schritt beim Azimutwinkel (Phi) oder beim Elevationswinkel (Theta),** und zwar vorwärts oder rückwärts.

Den Rest kann man selbst mal ansehen und ausprobieren.

5.2. Die farbige 3D-Darstellung



Ein Druck auf die **Taste „F9“** (**oder ein Klick auf den Button „3D“ in der Menüleiste**) nach der Fernfeld-Berechnung startet den „**Viewer**“ mit diesem Bildschirm.

Zum Einstieg sollte man mal das Koordinatensystem mit dem Dipol etwas drehen und herumschwenken. Dazu rollt man die Maus auf dem Bildschirm bei gedrückter linker Taste und sieht sich die Auswirkung (z. B. bei „Phi“ und „Theta“) an.

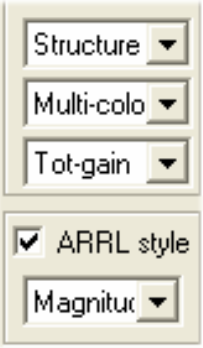
Dann sollte man folgende Tasten selbst ausprobieren:

a) mit „**Ident**“ kann ein bestimmtes Segment des Dipols nach Eingabe seiner Nummer sichtbar gemacht werden.

b) „**Res**“ = „**Reset**“ bewirkt das Zurücksetzen der Darstellung in die Startposition.

c) „**Rotc**“ ermöglicht die Auswahl eines bestimmten Segments als Drehpunkt (Rotationscenter).

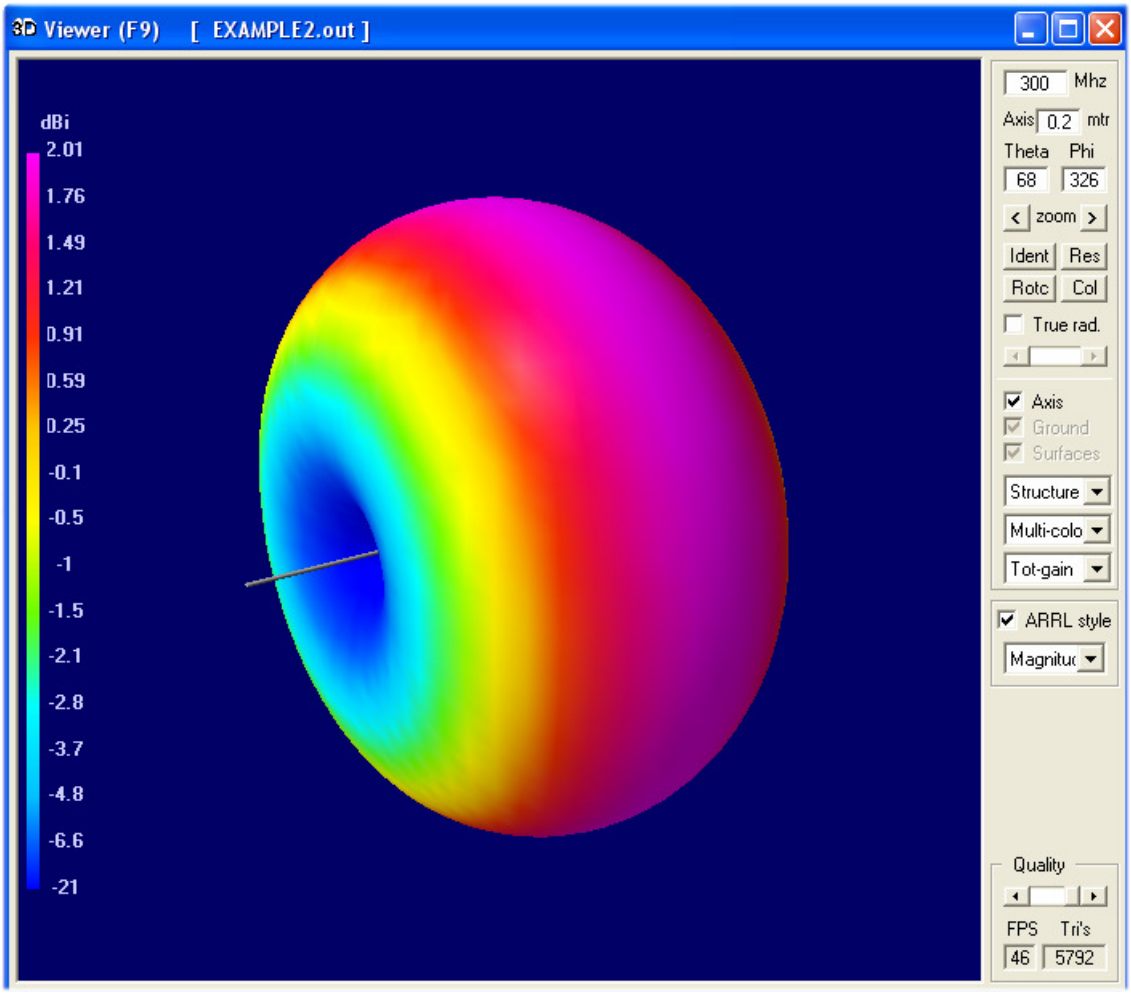
d) „**Col**“ ruft das Menü für die Farbeinstellungen auf.



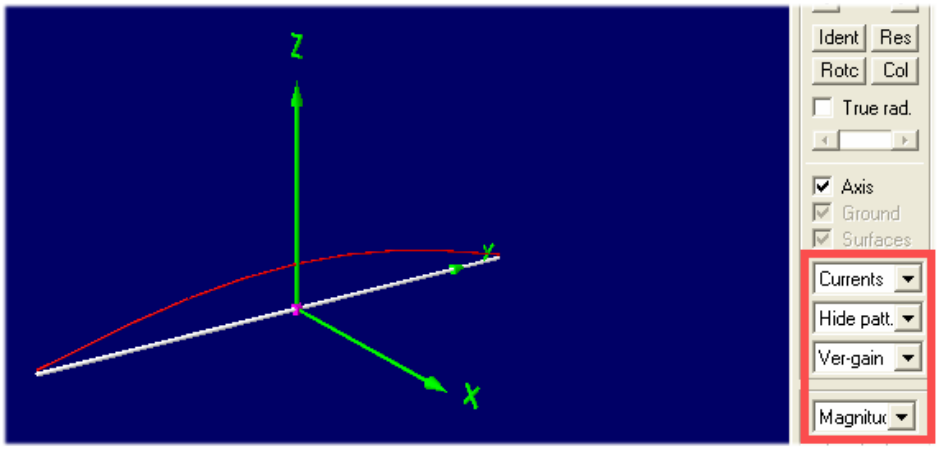
Aber jetzt wollen wir endlich mal die Einstellungen wählen, mit denen die versprochene farbige 3D-Präsentation der Abstrahlung möglich wird.

Hier sind sie…

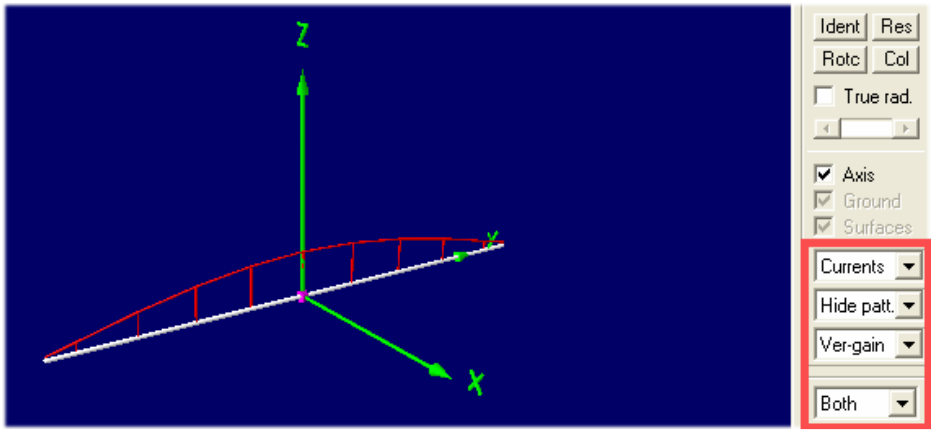
….und das ist der Erfolg. Bitte mal wieder das Ganze etwas bei gedrückter linker Maustaste drehen und schwenken…



Und nun noch einige (gezoomte) Darstellungen, die den Anwender interessieren.

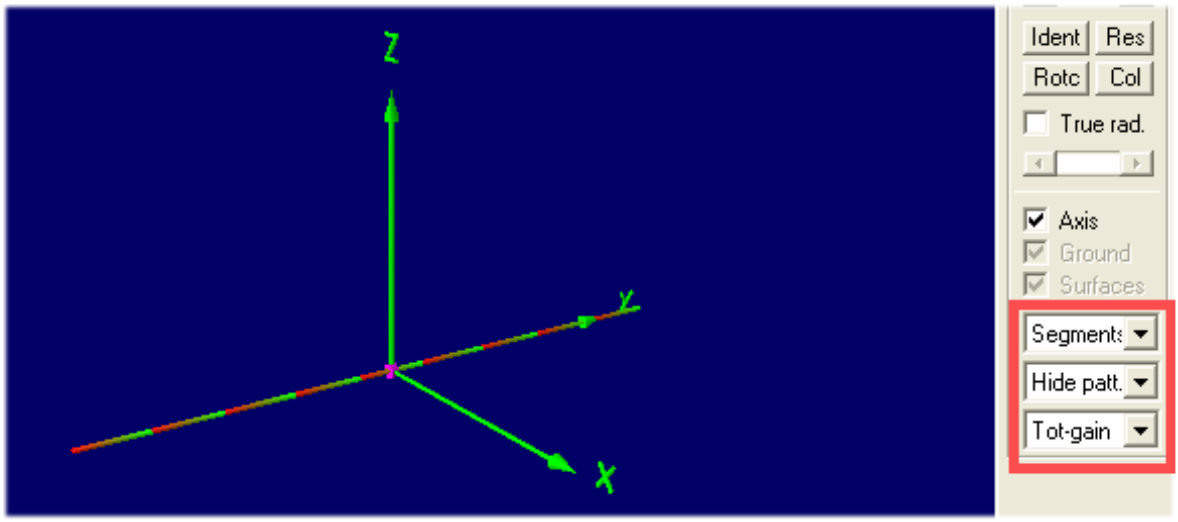


Das wäre die Darstellung des Stromverlaufs über dem Dipol…



…und hier wird außer der Stromamplitude auch noch die Phase angezeigt.

Oder hier werden zur Abwechslung mal die Segmente sichtbar gemacht, in die der Dipol für die Simulation zerlegt wurde:

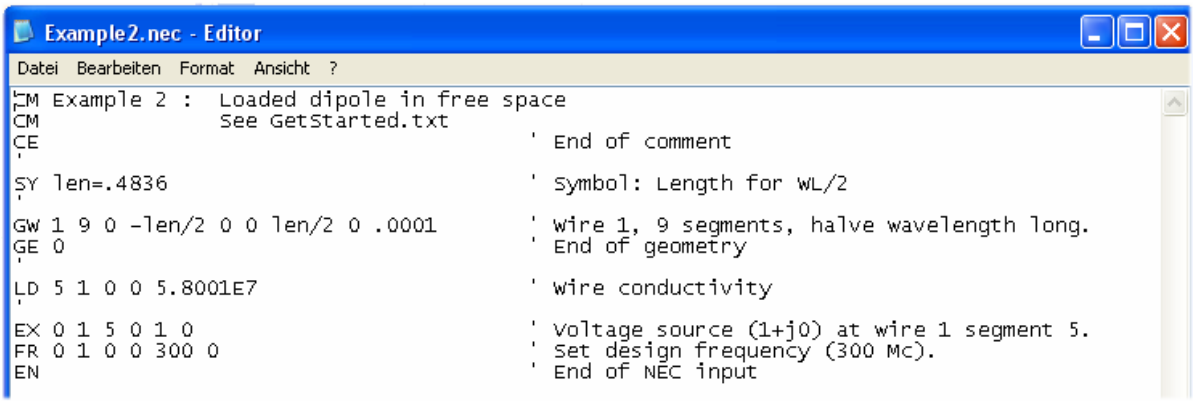


Bitte mal selbst die vielen, vielen Möglichkeiten durchspielen, die sich bei den einzelnen Menüs einstellen lassen!
Dauert so seine Zeit…..

5.3. Ein Blick in das NEC-File mit dem Notepad-Editor

Um das NEC-File zu öffnen, muss man erst in das „**main**“-Menü (= Taste F2) wechseln, bei „**settings**“ auf „**notepad-editor**“ schalten und anschließend **F6** drücken. Damit wird automatisch der Editor gestartet und er liefert folgendes Bild:

Bitte jetzt nichts überspringen, denn ein routinierter Umgang mit dem NEC-File im Texteditor hilft sehr bei Optimierungsaufgaben oder Änderungen oder bei der Fehleranalyse….



Jeder Zeile beginnt mit einem Kurzzeichen. Diese Kurzzeichen werden als „**Karten“ (= cards**) bezeichnet und weisen jedem Zeileninhalt seine Aufgabe zu.

Hinweis:
Im Hauptfenster „main“ findet sich unter „Help“ und „NEC short reference“ eine Auflistung der wichtigsten und am häufigsten verwendeten cards.

Doch sehen wir uns nun die einzelnen Zeilen nacheinander an.

Zeile 1 und Zeile 2: „**CM**“ bedeutet einen **Kommentar** in jeder Zeile, der maximal 30 Zeichen umfassen darf.

Zeile 3: „**CE**“ heißt „**Ende des Kommentars**“

Zeile 4: „**SY**“ bedeutet „Symbol“ und damit wird eine **Variable** (hier: Länge = length = **len=0.4836**) definiert. **Im endgültigen NEC-File sind alle Längen stets in Metern angegeben (auch wenn vorher unter „main / settings“ eine andere Längeneinheit eingestellt wurde!). Eventuell ist noch ein Skalierungsfaktor (= card „GS“) zu beachten.**

Zeile 5: „**GW**“ heißt „**Geometry of wire**“ und da wird es schon etwas aufwendiger. Da gehen wir mal nacheinander die Zahlen in der Zeile durch.

Sie beginnt mit „**1**“ und das bedeutet „**Wire mit der Nummer 1**“

„**9**“ gibt an, dass der Draht in **9 Segmente** aufgeteilt werden soll.

„**0** / **-len/2** / **0**“ sind die **Koordinaten des Anfangspunktes** beim Dipol (Reihenfolge: x / y / z). **Die verwendete Längeneinheit ist „Meter“.**

„**0** / **len/2** / **0**“ sind die **Koordinaten des Endpunktes** beim Dipol

„**.0001**“ ist der Drahtradius in Metern.

Zeile 6: „**GE**“ bedeutet „Ende der Draht-Geometrieangaben“.

Der Zusatz „**0**“ gibt an, dass **kein Erdboden** vorhanden ist. **Alternativen wären „-1“ oder „1“,** aber dann ist zwingend eine zusätzliche “**Ground-Karte“ (= GN card)** mit exakten Bodendaten erforderlich (…kriegen wir später…).

Zeile 7: „**LD**“ steht für „**Loading of a segment**“. Davon gibt es ein ganzes Sortiment und man muss entweder die Online-Hilfe (NEC Short reference) bzw. das ebenfalls in der Online-Hilfe bereitstehende Original-Manual zu Rate ziehen, um diese Option richtig einsetzen zu können. Hier bedeutet das:

Es wird mit „**LD 5**“ gearbeitet und das steht für die **Eingabe der Leitfähigkeit des Antennendrahtes**.

„**1**“ ist der „tag“ und das heißt, dass die Eingabe für **Wire 1** gilt.

„**0 0**“ bedeutet, dass diese beiden Felder auf dieser Karte leer bleiben.

„**5.8001E7**“ stellt die **Leitwertsangabe für Kupfer** (in Siemens / m) dar.

Zeile 8: „**EX**“ bedeutet „**Exitation**“, also **Anregung der Struktur durch eine Energiequelle**.

„**0**“ = diese Null heißt, dass mit einer **Spannungsquelle** gearbeitet wird.

„**1**“ heißt mal wieder, dass **Wire 1** (= tag 1) angeregt wird

„**5**“ bezeichnet das **Segment von Wire 1**, bei dem die Spannungsquelle angeschlossen ist.

„**0**“ ist wieder mal ein leeres Feld auf der Karteikarte.

„**1 0**“ ergibt den **Realteil und den Imaginärteil der angelegten komplexen Spannung (also 1 + j0).**
Hier arbeiten wir nur mit einer reellen Spannung von 1V

Zeile 9: „**FR**“ gibt nicht nur die **Frequenz** an, bei der gearbeitet wird. Es ist nämlich im Normalfall ein Sweep vorgesehen und deshalb wird etwas mehr Information nötig.

„**0**“ bedeutet „linearen Sweep“ (…“1“ wäre dann logarithmisch…)

„**1**“ sagt dann, dass in diesem Beispiel nur ein einziger Frequenzschritt ausgeführt werden soll.

„**0 0**“ sind mal wieder zwei leere Felder auf der Karte.

„**300**“ entspricht einem Startwert von 300MHz bei der Frequenz.

„**0**“ erzeugt eine Schrittweite von Null MHz

Zeile 10: „**EN**“ steht für das Ende des NEC-Files

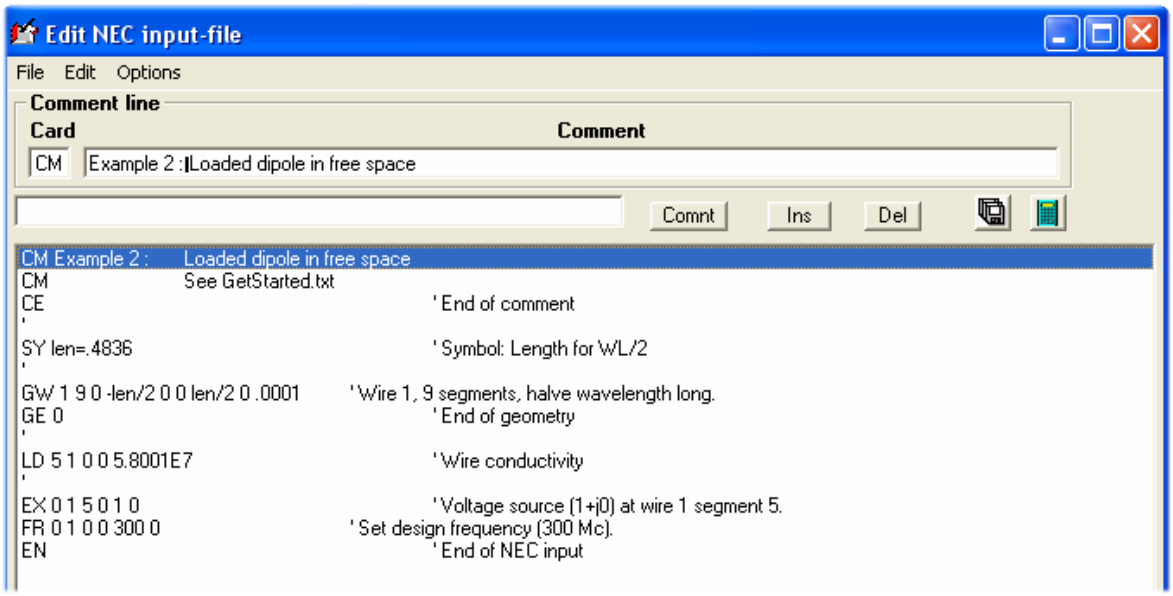
5.4. Der 4NEC2-Editor

Bitte aufpassen:

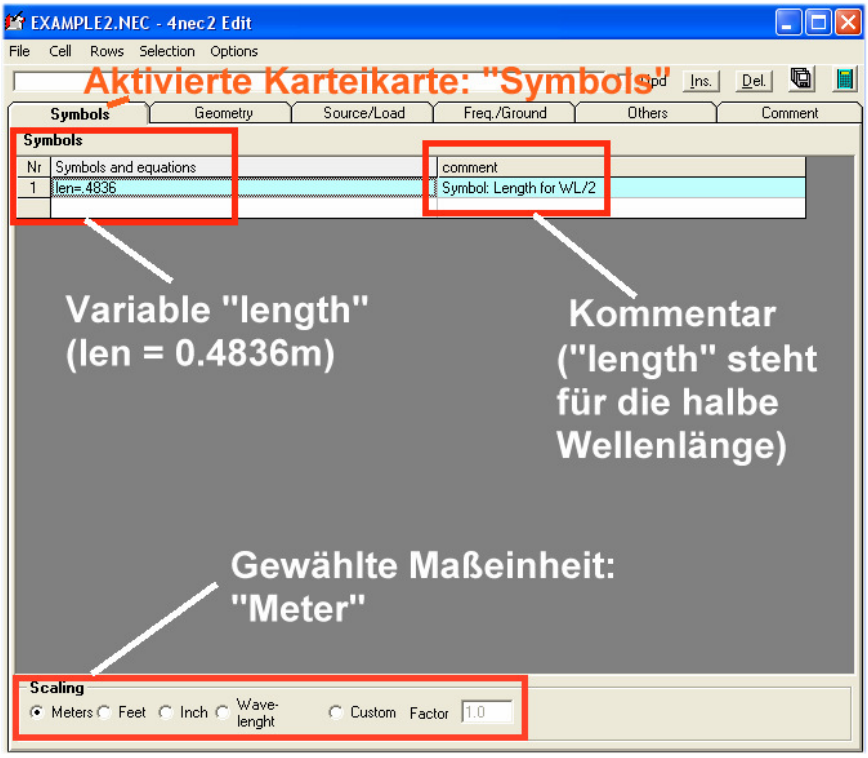
Wie erwähnt, gibt es da eine alte und eine neue Version, die man getrennt unter „Settings“ im „main“-Menü aufrufen kann!

5.4.1. Das Arbeiten mit dem alten 4NEC2-Editor

Kein Problem, denn das ist wie das Arbeiten mit Notepad, allerdings in einer etwas modernen Umgebung und wir können damit später auch Optimierungen erledigen. **Aber diese Editor-Version ist eigentlich schon überholt…**



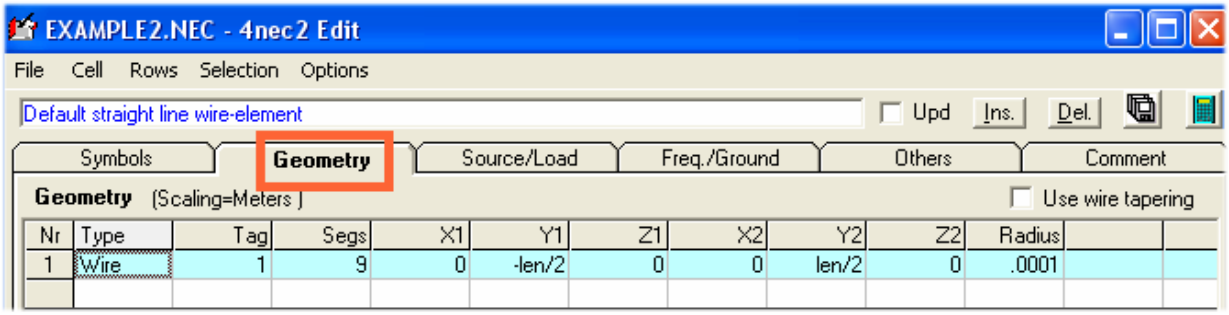
5.4.2. Der neue 4NEC2-Editor



Nach der Berechnung der Antenne rufen wir entweder unter „**Settings**“ im „**main“-Menü** diesen Editor als „**NEC Editor (new“)** auf oder wir drücken **<Control> + <F4>.**

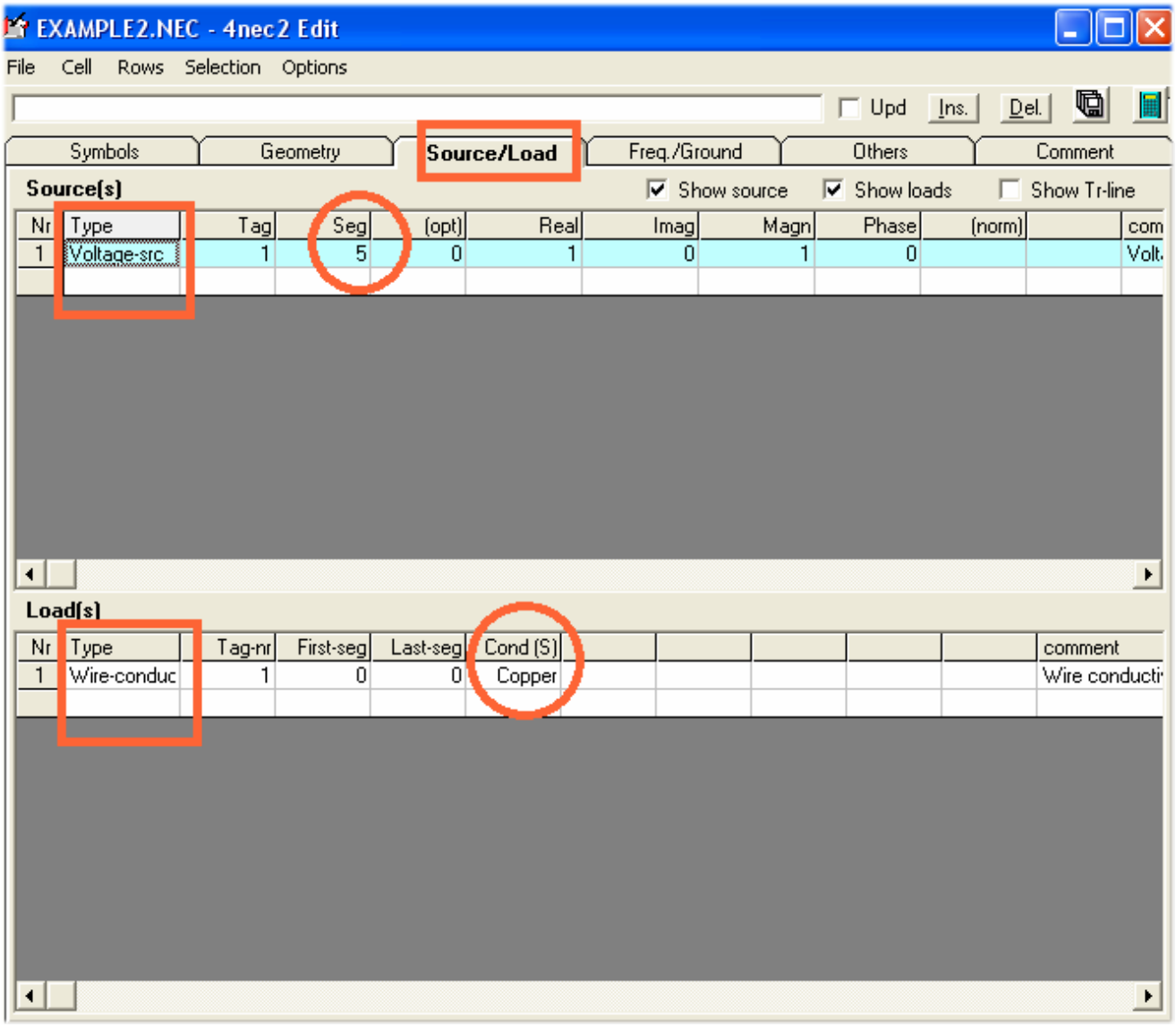
So sieht das dann für die erste Karteikarte „**Symbols**“ aus.

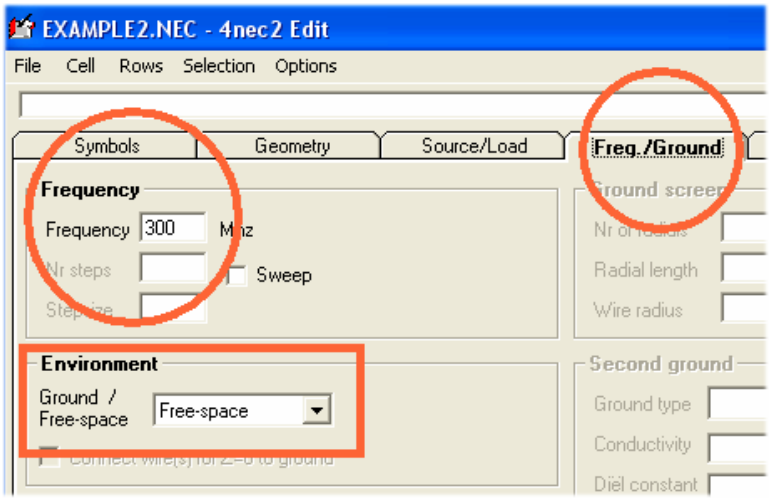
Auf der nächsten Karte „**Geometry**“ werden alle benützten Drähte mit ihren Daten aufgelistet (**Nummer / Zahl der Segmente / xyz-Koordinaten von Drahtanfang und Drahtende / Drahtradius in m**)



Dann folgt die **Source** / **Load** – Karte. Man erkennt in dieser **Source**-Karte, dass eine Spannungsquelle an Segment 5 von Tag 1 angeschlossen ist und dass mit einer reellen Quelle (Magnitude = 1V) gearbeitet wird.

Bei „**Load**“ hatten wir im NEC-File nur „LD5“ als Eintrag und das war die Angabe der Leitfähigkeit für den Antennendraht aus Kupfer.

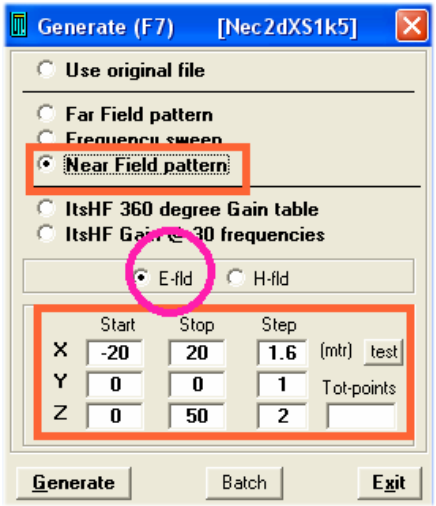




Schließlich bleibt noch die **Karte für die Frequenz und die Umgebung bzw. den Erdboden** übrig.

Wir arbeiten genau bei 300MHz (= kein Sweep) und der Dipol hängt im freien Raum.

5.5. Die Simulation des Nahfeldes



Wir wechseln in „**main**“ (**F2**) und drücken dann „**F7**“.
Im auftauchenden Menü wird „**Near Field Pattern**“ und „**E-Field**“ ausgewählt.

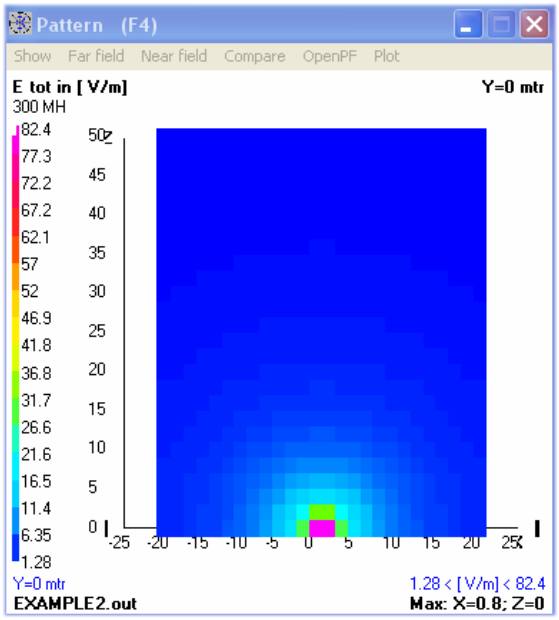
Die Grundeinstellungen für die untersuchte Zone lassen wir mal so stehen. Sie bedeuten:

„Erstelle einen Querschnitt der E-Feldverteilung für Y = 0 (also in der Dipolmitte, in Längsrichtung des Dipoldrahtes gesehen) und untersuche folgenden Bereich:

„X“ von -20m bis +20m in Schritten von 1,6m

sowie

„Z“ von 0 bis 50m in Schritten von 2m.“

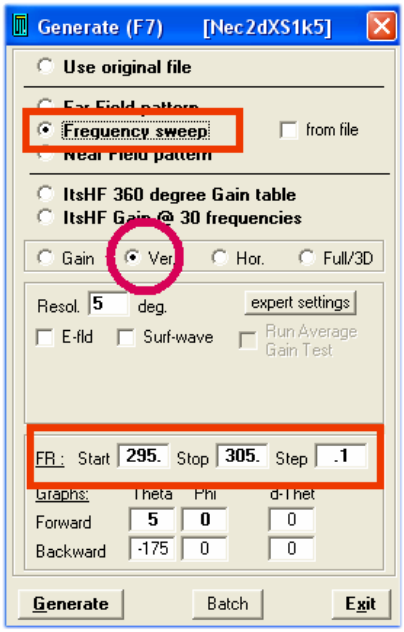


So sieht das Ergebnis aus.

Aber da sollte man auch wissen, zu welcher Eingangsleistung diese Feldverteilung gehört. Wir öffnen dazu das Menu „Settings“ und schauen unter „Input Power“ nach. Dort finden wir das Eingabefeld mit dem vom Programmierer gewählten Default - Wert von 100W.

(Hinweis: diese Angabe wird auch bei der Berechnung der Stromverteilung verwendet und kann vom Benutzer verändert werden).

5.6. Sweep des SWR und des Eingangs-Reflektionsfaktors



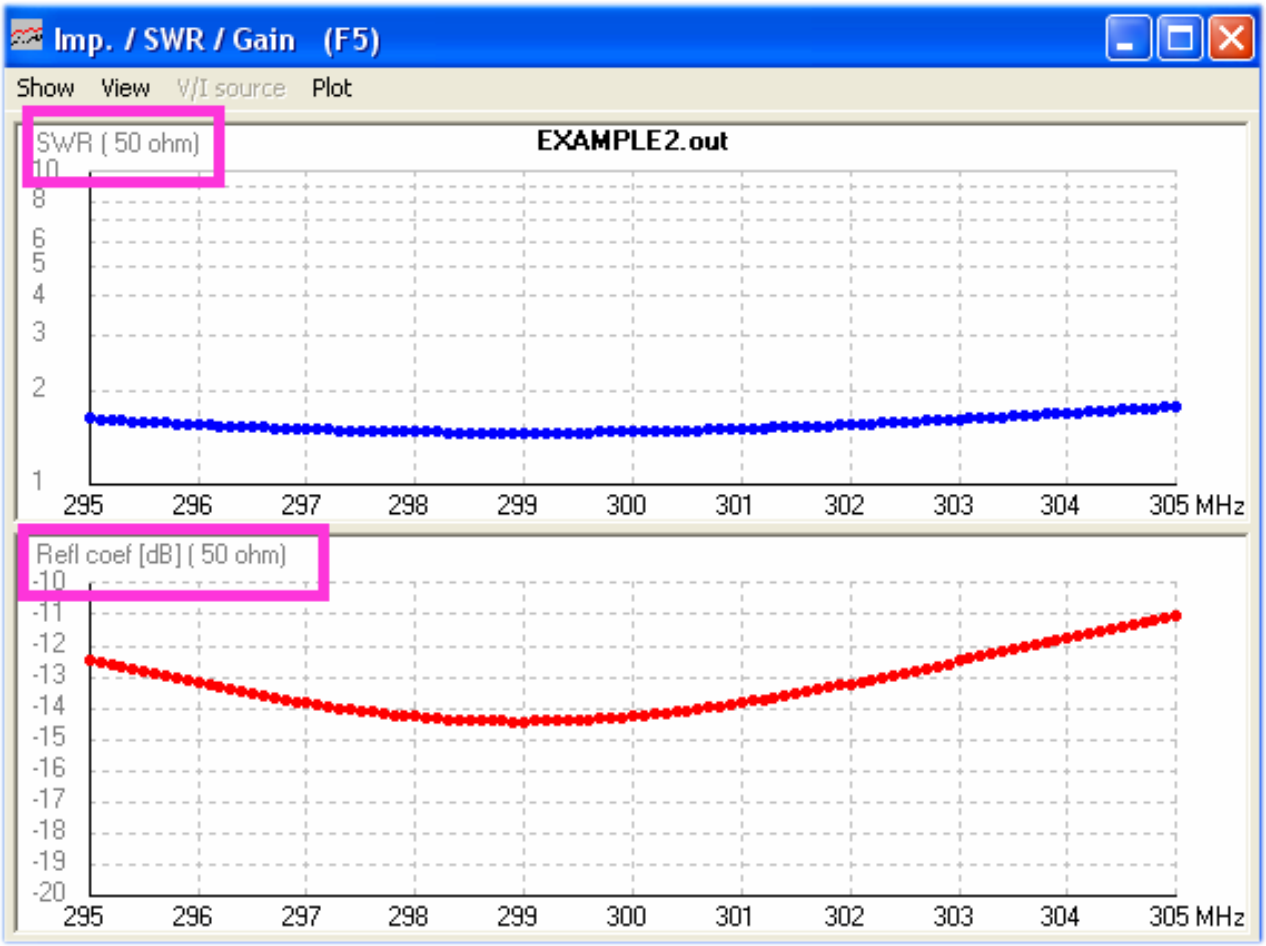
Wir wechseln in „main“ (**F2**) und drücken dann „**F7**“. Im auftauchenden Menü wird „**Frequency sweep**“ ausgewählt.

In der unteren Hälfte des Menüs tragen wir dann den **Sweep-Bereich von 295 bis 305MHz** ein und wählen eine **Schrittweite von 0,1MHz.**

Außerdem wählen wir „**Ver**“ (= Vertikales Pattern)

Mit „**Generate**“ wird die Simulation gestartet.

Und das ist das Ergebnis:



6. Erstes eigenes Projekt: 300MHz-Dipol über realistischem Boden

6.1. Änderungen im NEC-File

Da nehmen wir den Dipol aus dem vorigen Beispiel und ändern zwei Dinge:

a) der Dipol soll sich **1m über dem Boden befinden** und

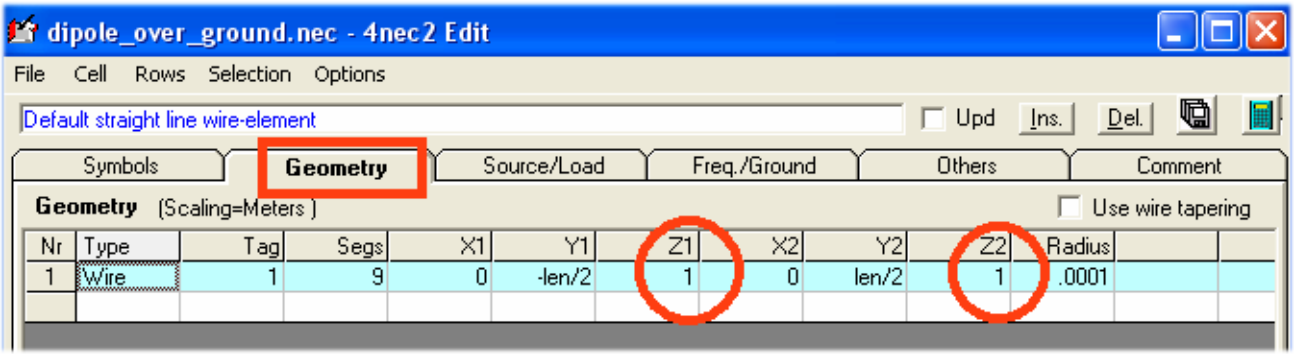
b) es soll ein **realistischer Boden (Sommerfeld Norton Ground)** angenommen werden.

Dazu legen wir uns erst ein neues Verzeichnis für die eigenen Arbeiten an (z. B. „**own_examples**“) und darin einen Ordner für diese Aufgabe („**dipole_over_ground**“). Nun können wir das Input-NEC-File des vorigen Beispiels („example2.nec“, in „models“ zu finden) dort hineinkopieren und gleich seinen Namen in

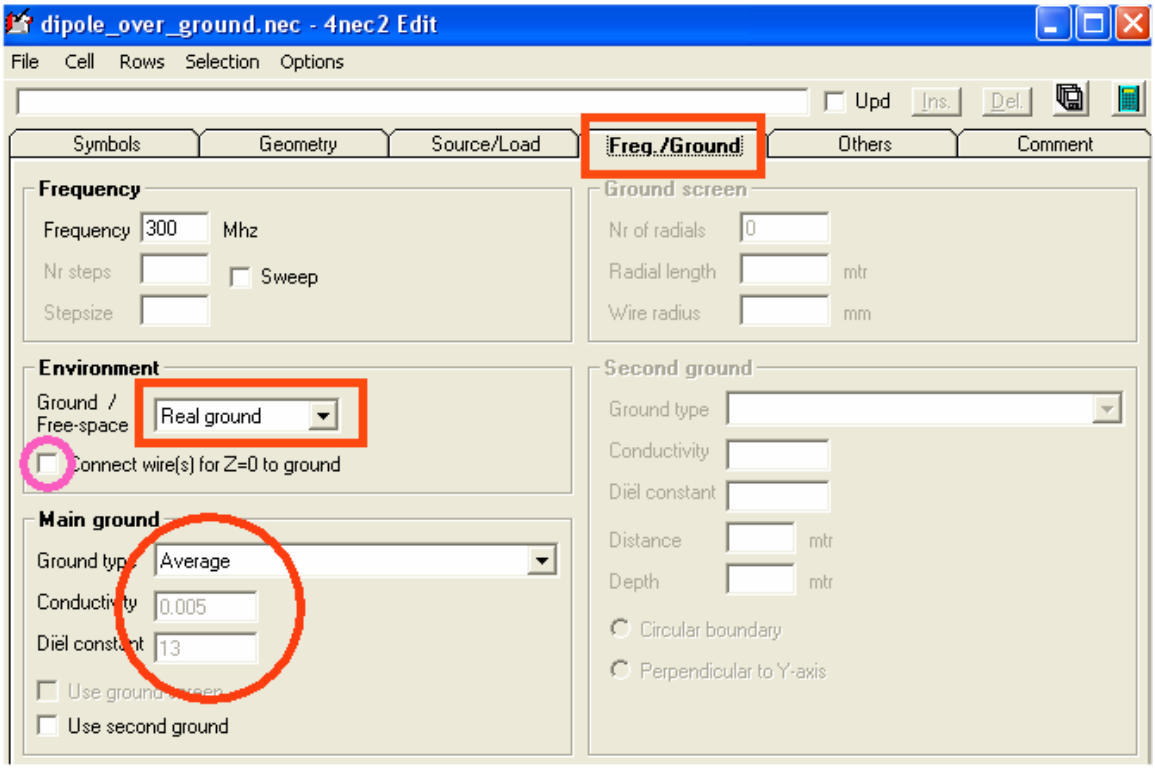
dipole_over_ground.nec

ändern.

Dann wird 4NEC2 gestartet und zuerst unter „**Settings**“ auf den **neuen 4NEC2-Editor** geschaltet. Anschließend öffnet man das obige File „**dipole_over_ground**“ und drückt die **Taste F6**.
Zuerst werden auf der Karteikarte „**Geometry**“ die Höhen der beiden Dipol-Endpunkte auf **z = 1m** gebracht



Dann wird auf „**Real ground**“ vom Typ „**Average**“ umgeschaltet und das **Häkchen bei „Connect wire for Z = 0 to ground“ entfernt**.



Rufen wir das Input NEC File mit dem einfachen Texteditor (= notepad) auf, dann sehen wir sofort die vom Programm vorgenommenen Änderungen:

```
CM Example 2 :  Loaded dipole 1m above ground
CM
CM
CM
CM
CM
CE
SY len=.4836     'Symbol: Length for WL/2
GW      1       9       0       -len/2  1       0       len/2   1       .0001   'wire
GE      -1
LD      5       1       0       0       58000000        'wire conductivity
GN      2       0       0       0       13      0.005
EK
EX      0       1       5       0       1       0       'voltage source (1+j0) at wire
FR      0       0       0       0       300     0
EN
```

Neue Höhe: z = 1m

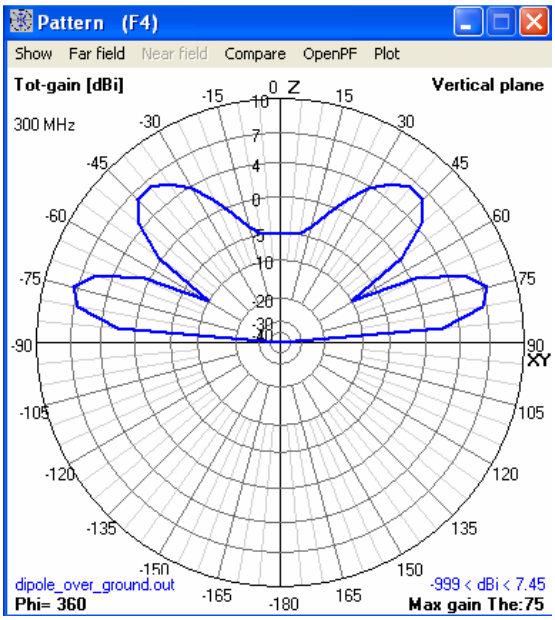
Ground present, wire-ends not connected to ground, GN card required

Ground card

Die Änderungen bei der **Ground card GN** sind leicht zu verstehen:

„2“	**steht für Sommerfeld Norton Ground.**
„13“	**ist die dafür gültige Dielektrizitätskonstante**
„.005“	**ist die Boden-Leithähigkeit in Siemens / m**

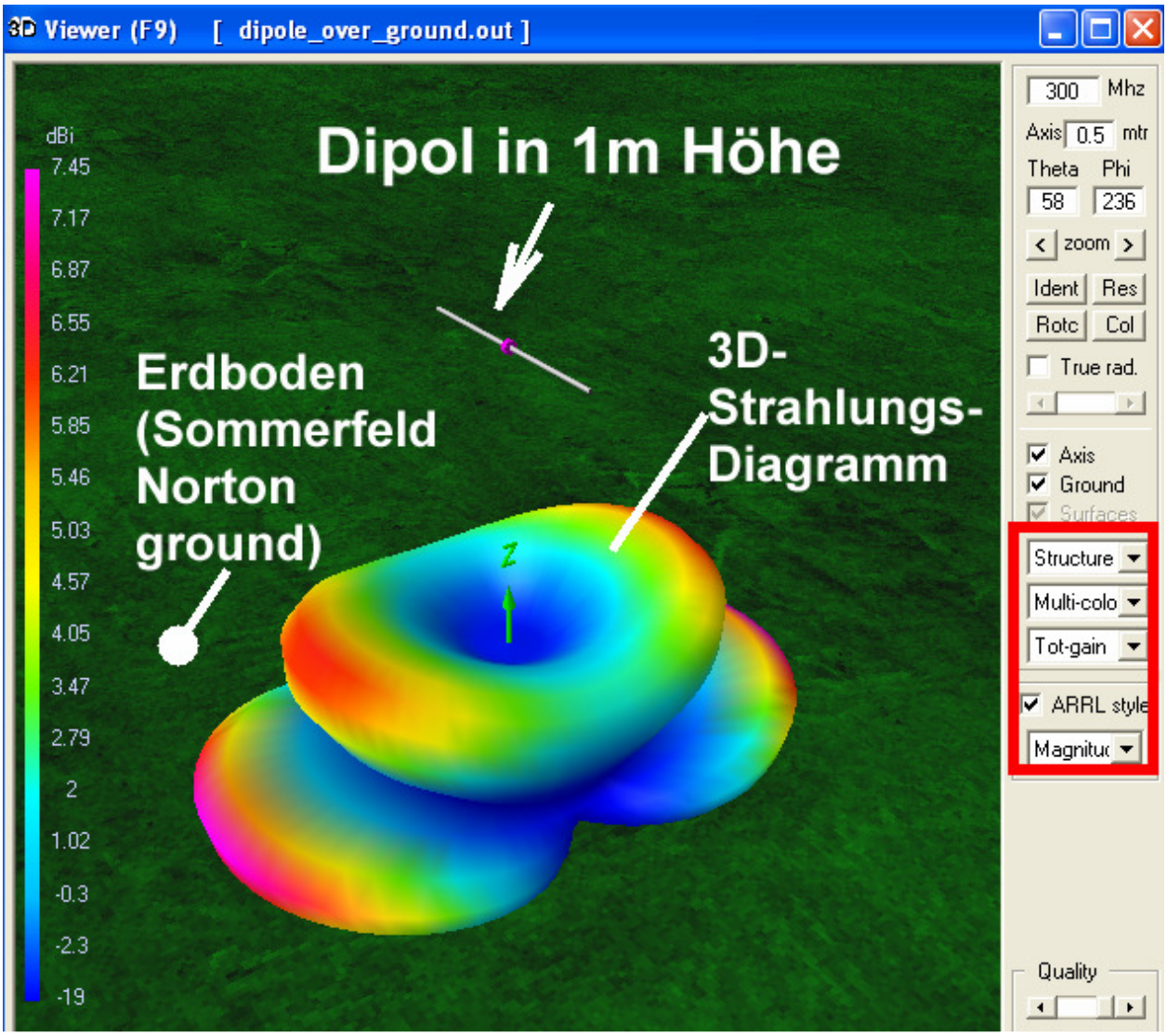
6.2. Fernfeld-Simulation



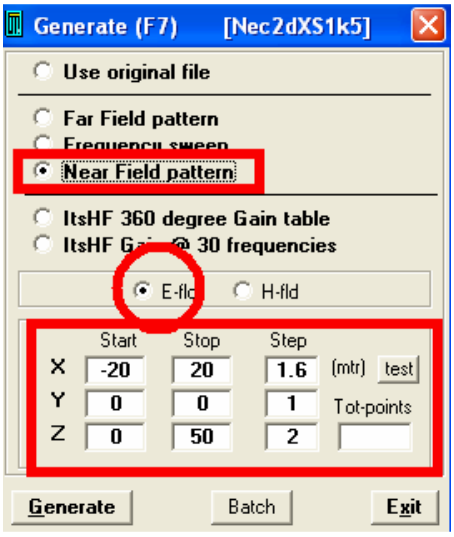
Das kennen wir nun schon: Taste **F7** drücken, „**Farfield Pattern**“ und „**Full**“ aktivieren, dann „**Generate**“.

So erscheint das nebenstehende Pattern für die „Vertical Plane“.

Mit der Taste F9 (oder nach dem Druck auf den 3D-Button in der Menüleiste) steht wieder das 3D-Strahlungsdiagramm zur Verfügung, wenn die korrekten Einstellungen (im roten Rahmen) gewählt werden.

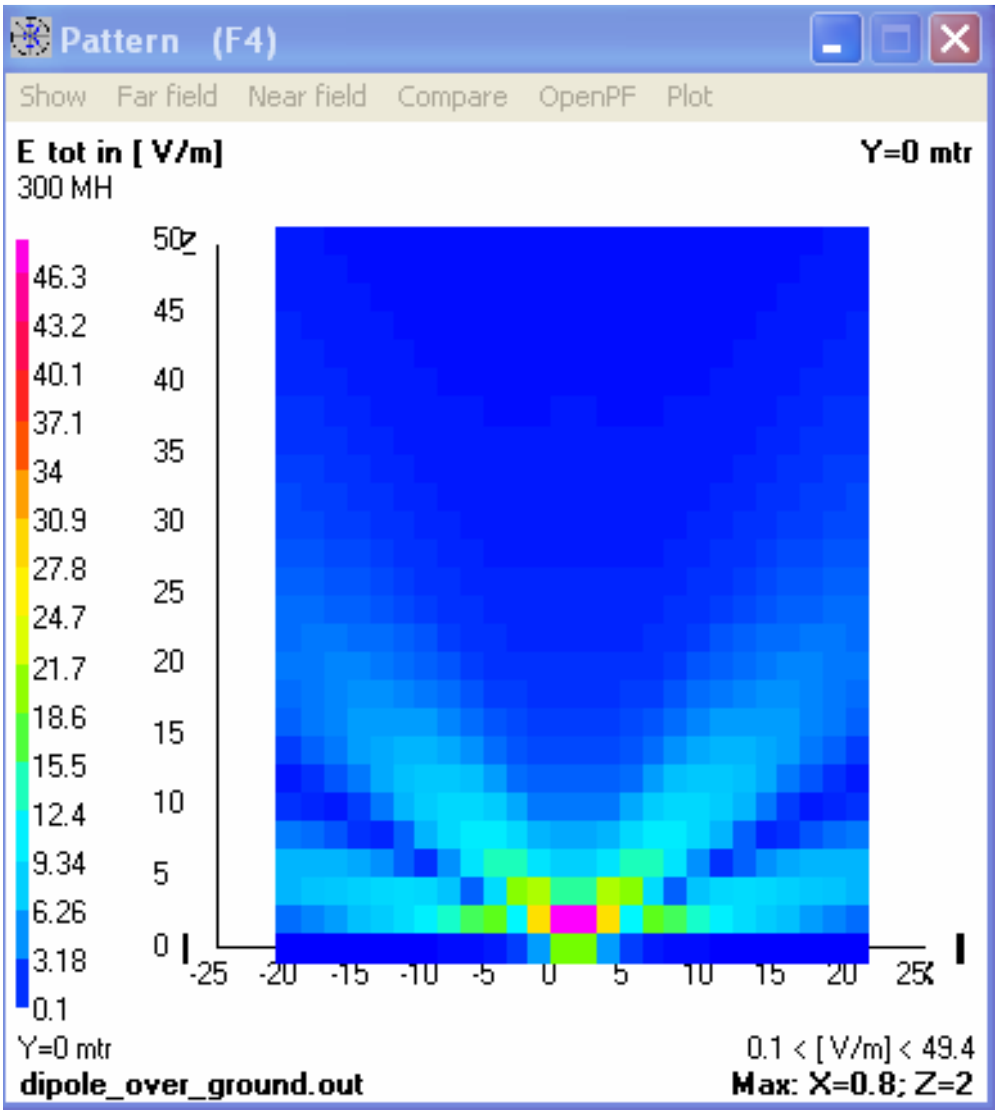


6.3. Nahfeld-Simulation

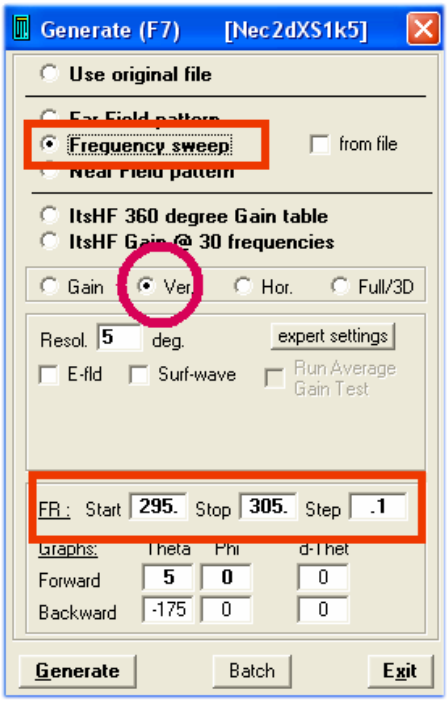


Kein Problem, denn mit diesen Einstellungen erhält man sofort den Verlauf der Elektrischen Feldstärke unmittelbar um den in 1m Höhe aufgehängten Dipol.

Die zugehörige Eingangsleistung beträgt wieder 100W.



6.4. Sweep von SWR und Eingangsreflektion

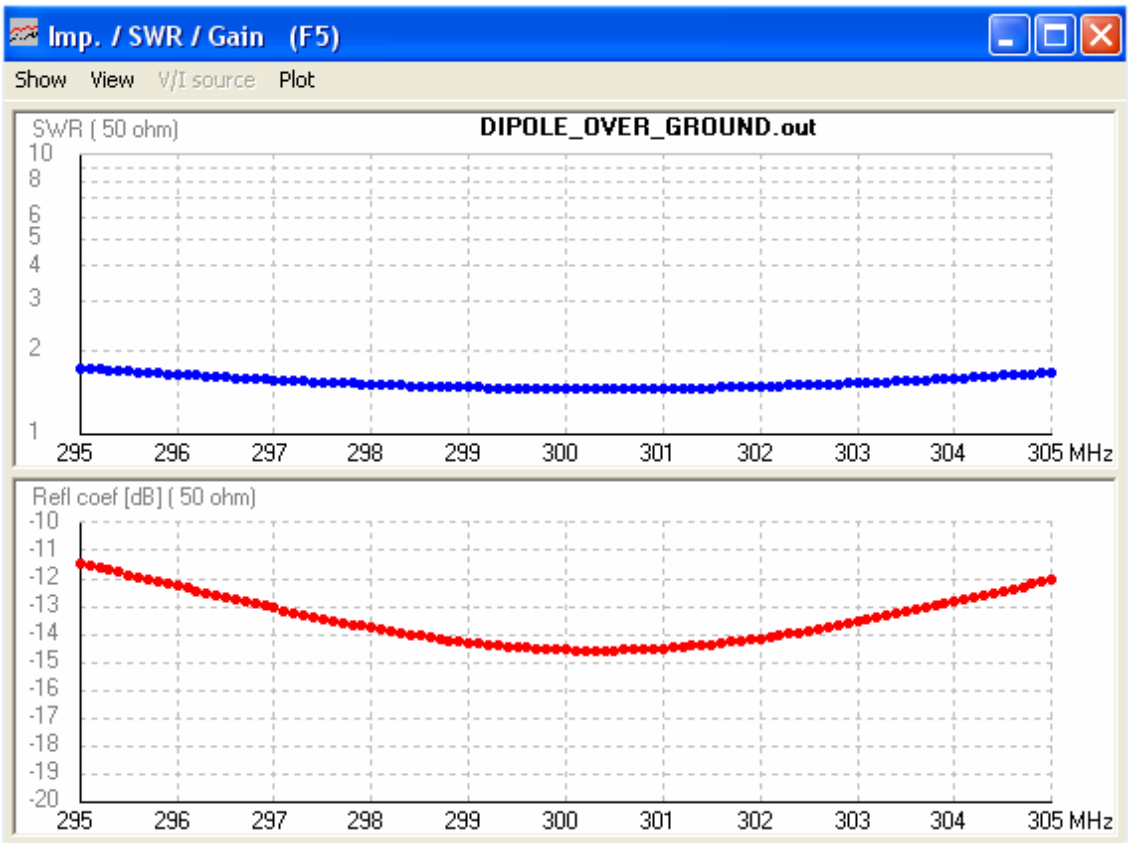


Das kennen wir vom vorigen Beispiel:

F7 drücken, dann „**Frequency sweep**“ wählen und einen **Sweep-Bereich von 295 bis 305MHz** mit einem Step von 0,1MHz programmieren. Gewählt wird außerdem „**Vertical**“.

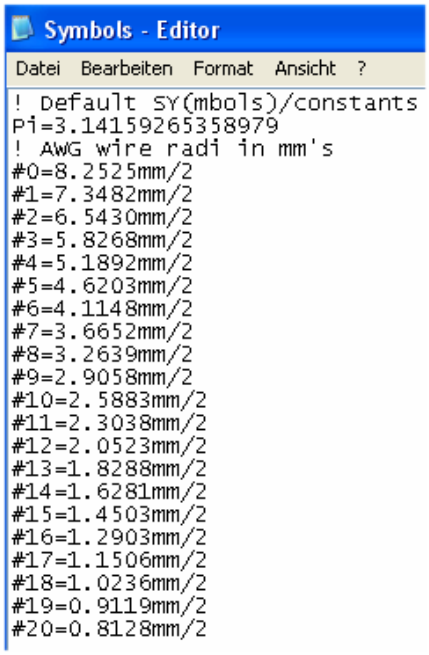
„**Generate**“ startet die Simulation.

Die Rechnerei dauert nun deutlich länger, aber das Ergebnis hat sich gegenüber Kapitel 5.6. nicht wesentlich geändert. Nur die Frequenz für minimale Reflektion ist um ca. 1,5MHz angestiegen.



7. Zweites Projekt: 300MHz-Dipol mit dicken Antennenstäben

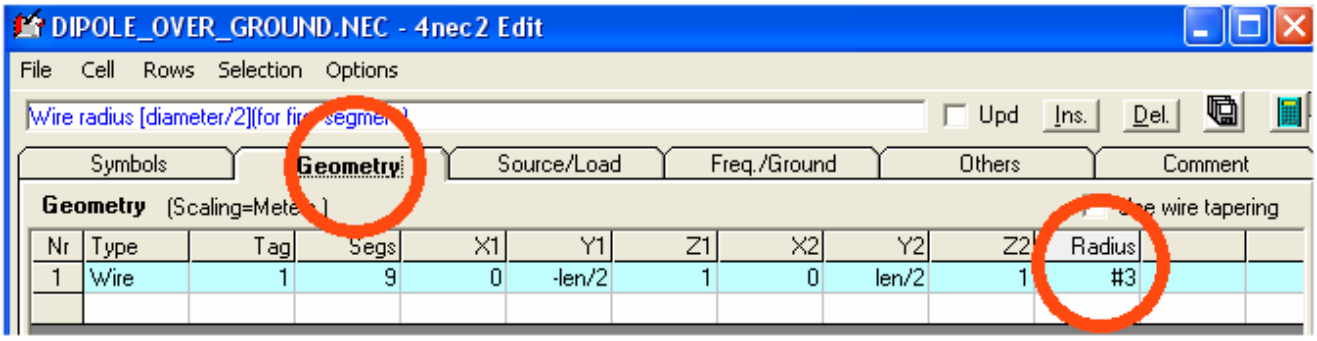
7.1. Die Sache mit dem Drahtradius und dem dicken Draht



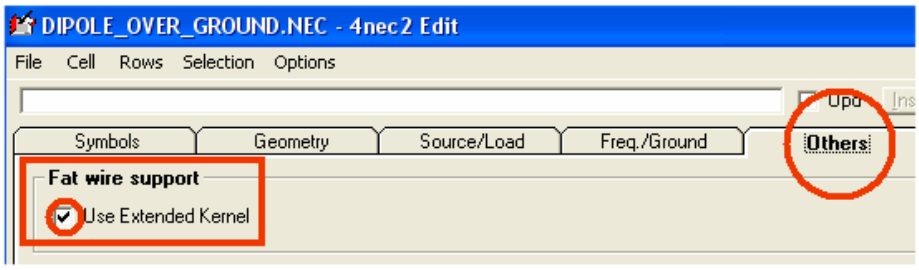
Wir wollen nun vom Idealzustand des vorigen Beispiels (= unendlich dünner Draht) auf die Wirklichkeit übergehen -- und da brauchen wir schon etwas Dickeres, wenn die Antenne mechanisch stabil sein soll. Dazu gibt es eine Tabelle mit vordefinierten Variablen, in der die Drahtdurchmesser nach der AWG-Normung (= American Wire Gauge) abgestuft sind. Sie findet sich unter „**Settings**“ und „**pre-defined symbols**“.

Nehmen wir mal die **Variable „#3“ für einen Durchmesser von 5,8mm** -- das dürfte von der Stabilität her ausreichen. Also öffnen wir jetzt mit dem Editor das NEC – File, tragen diesen Wert ein und speichern alles.

So sieht das dann im 4NEC2-new-Editor aus:



Wichtig:



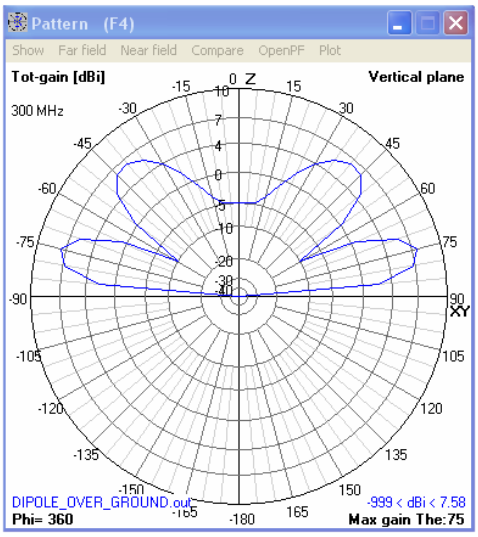
Zum ersten Mal müssen wir uns um die Karteikarte „**Others**“ kümmern, der wir bisher keine Beachtung geschenkt haben, denn **jetzt ist es wichtig, den „Fat wire support“ zu aktivieren.**

Öffnet man anschließend das NEC-File mit dem Notepad-Editor, dann sieht man, dass eine **Zeile (=Karte) dazugekommen ist.**

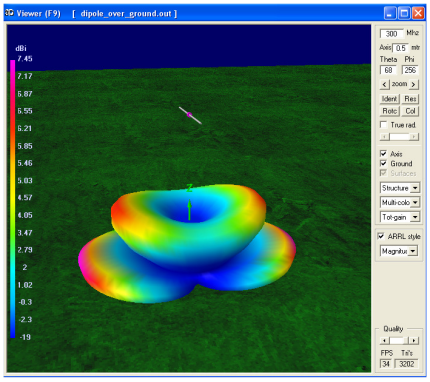
Sie heißt „EK“ (= extended kernel) und wir können diese Option auch jederzeit schnell in Notepad von Hand eintippen…

(Im 4NEC2-Editor wird sie meist automatisch hinzugefügt. **Deshalb sollte ab jetzt jedes NEC-File automatisch die Zeile „EK“ enthalten**).

7.2. Das Fernfeld und das Nahfeld

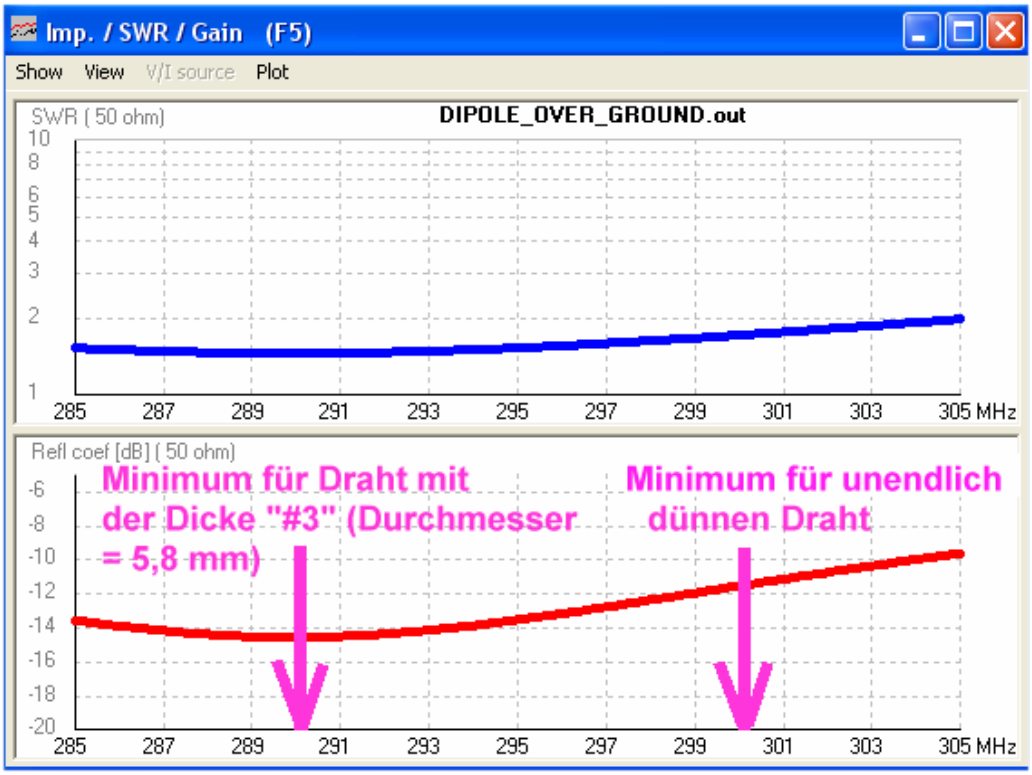


Im Fernfeld hat sich im Vergleich zu Kapitel 6.2 praktisch nichts verändert.



Ebenso stimmt das Nahfeld-Pattern für eine Eingangsleistung von 100W mit der Darstellung in Kapitel 6.3. überein.
Bitte selbst prüfen…

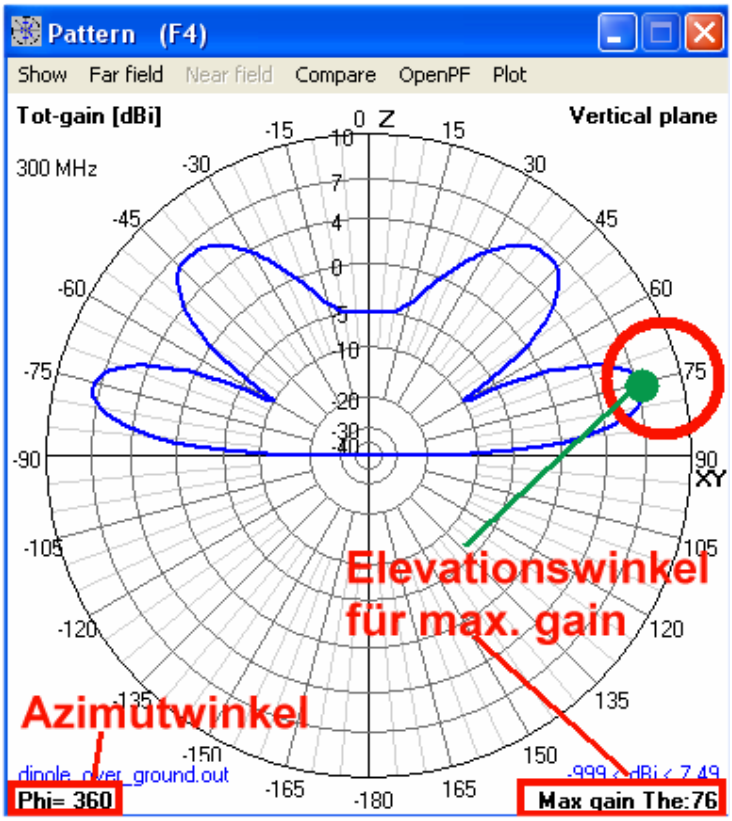
7.3. Sweep von SWR und Eingangsreflektion



Da sieht es ganz anders aus als im vorigen Beispiel, denn durch den dicken Draht sinkt die Frequenz für das Reflektionsminimum um ca. 10MHz.

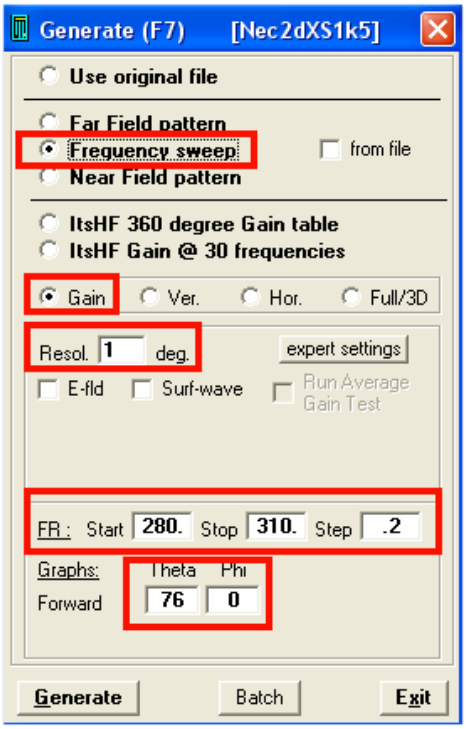
7.4. Sweep des Antennengewinnes („gain“)

Da ist zunächst ein Blick auf das Vertikale Richtdiagramm (Siehe in Kapitel 7.2.) nötig und wir simulieren es nochmals. Diesmal aber mit einer **Winkelauflösung (Resolution) von 1 Grad.**



Darin ist der Elevationswinkel für den **maximalen „gain“-Wert bei Theta = 76 Grad** genau markiert.

Zusätzlich bedeutet dieses Bild einen „Querschnitt“ durch das räumliche Pattern in Kapitel 7.2. -- und zwar exakt für einen Azimutwinkel von 360 Grad.



Jetzt wird wieder die Taste F7 gedrückt und dann geht es an die Einstellungen:

a) Wir wünschen einen Frequency Sweep

b) Uns interessiert „gain“

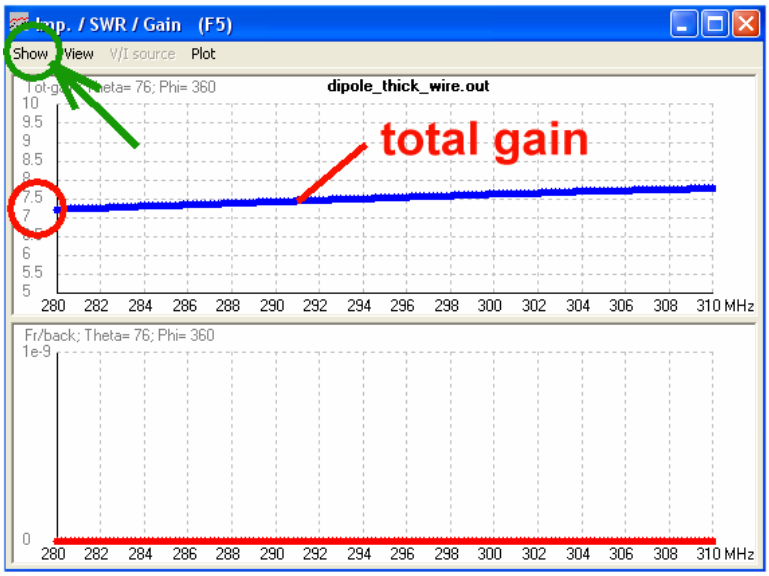
c) Die Winkelauflösung stellen wir auf 1 Grad

d) Wir sweepen den Freq uenzbereich von 280 bis 310MHz mit einem Step von 0,2MHz

e) Wir achten auf die korrekten Winkelwerte mit Theta = 76 Grad und Phi = 0 Grad

Dann wird „**Generate**“ gedrückt.
(Falls da eine Information eingeblendet wird, dass „F/B-Daten“ nicht zur Verfügung stehen, wenn „gain“ simuliert wird: einfach ignorieren und nochmals „Generate“ anklicken)

Nach dem Ende des Rechenvorgangs bekommen wir zunächst das **Feld „F5“ mit dem SWR und der Eingangsreflektion S11** zu sehen -- also den Graphen aus Kapitel 7.3.



Mit „**Show**“ und „**Forward Gain**“ kommen wir an unseren gewünschten Antennengewinn und seine Frequenzabhängigkeit heran.

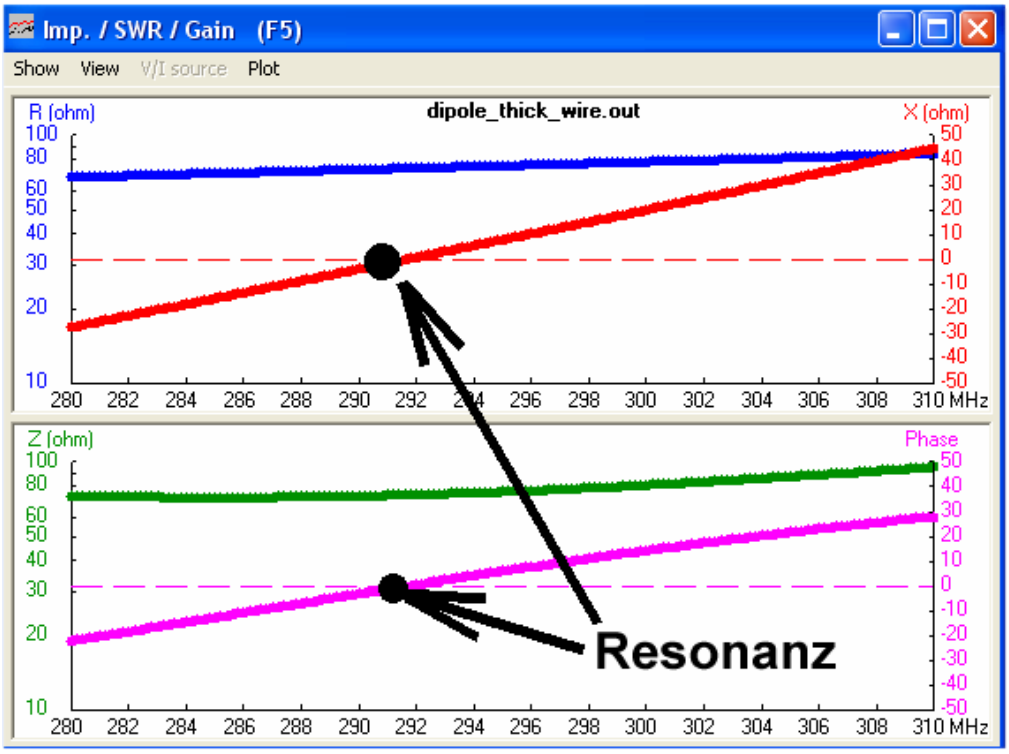
Und wie die vorhin weg geklickte Bemerkung sagte: im unteren Bild gibt keine Front / Back-Simulation zu sehen.

7.5. Sweep der Eingangsimpedanz

Da findet sich unter „Show“ noch ein weiteres hübsches Bildchen, nämlich die **Eingangsimpedanz in Abhängigkeit von der Frequenz. Entweder als Wirk- und Blindanteil ODER als Betrag und Phase!**

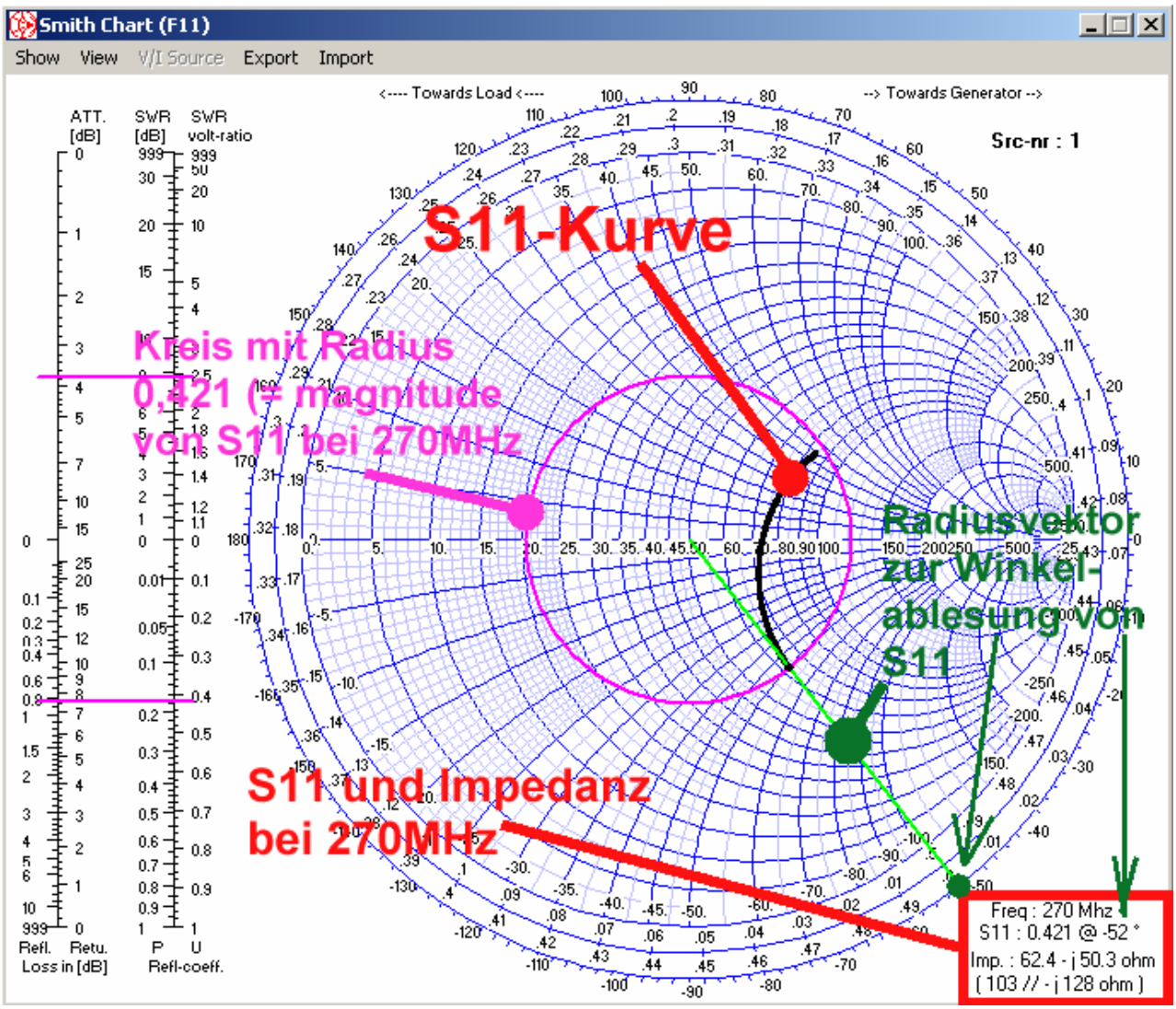
Nun sieht man natürlich ganz genau, wo die Resonanzfrequenz liegt, denn da verschwinden bekanntlich die Blindanteile….

Sehr schön ist zu erkennen, dass wir dort an den Eingangsklemmen des Dipols einen Strahlungswiderstand von ca. 70Ω messen.



8. Ein tolles Spielzeug: die Smithchart-Maschine

In der Menüleiste von „main“ wird plötzlich nach einer Simulation eine Taste mit einem Smithchart-Symbol aktiv. Deshalb **wiederholen wir die vorige Simulation für SWR und Eingangsreflektion für einen Frequenzbereich von 270 bis 310MHz** mit einem Step von 0,2MHz und drücken anschließend diese Smithchart-Taste. Dann empfängt uns folgender Bildschirm:

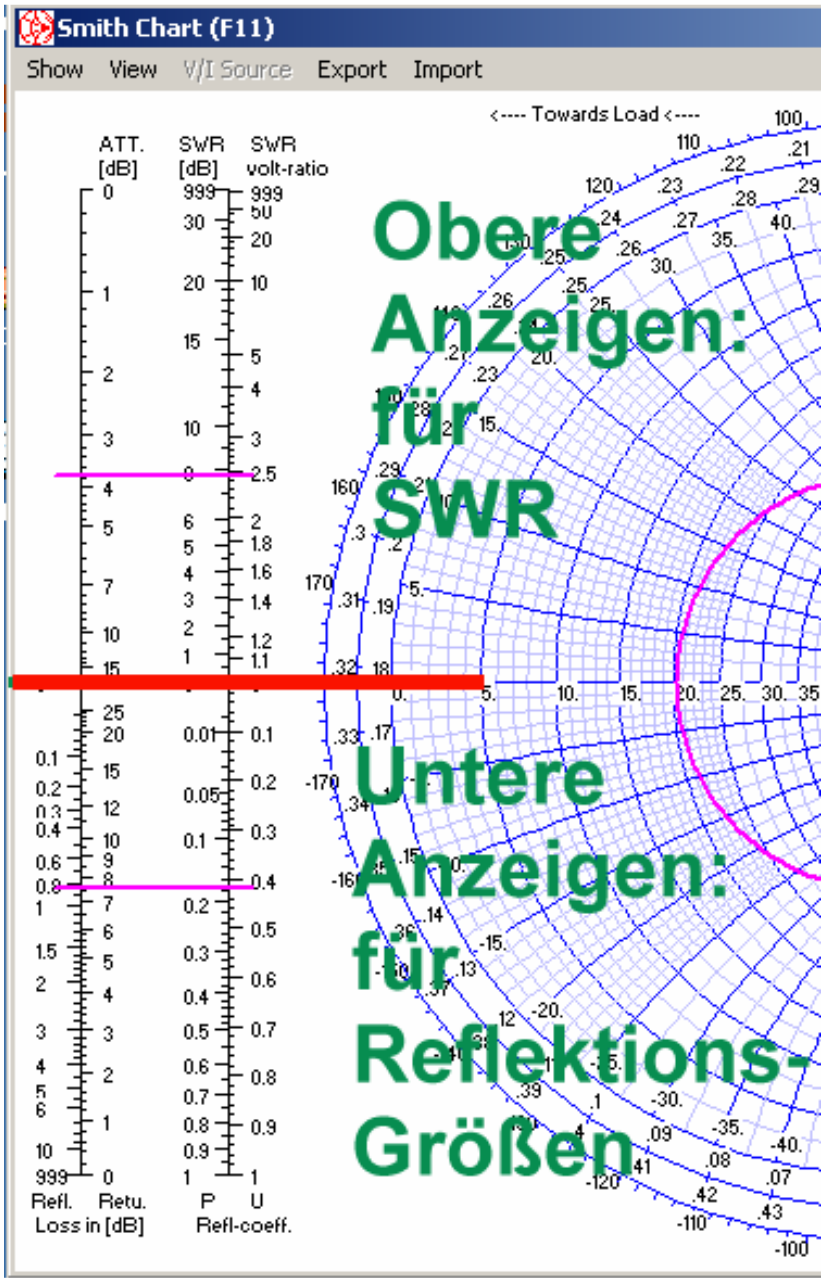


Der berechnete **Verlauf von S11** wird als **schwarze Kurve** dargestellt.
Die **aktuelle Frequenz ist unten rechts eingeblendet**. Sie kann mit der „linken bzw. rechten Pfeiltaste der Tastatur“ schrittweise innerhalb des eingestellten Sweepbereichs erhöht oder erniedrigt werden. Angezeigt wird **S11 bei dieser Frequenz, und zwar als „magnitude und phase“.**

Vorsicht:
Die in der nächsten Zeile folgende Impedanz -- als Reihen- UND als Parallelschaltung aufgeführt -- gehört dagegen zur aktuellen Mauscursor-Position!

Durch den aktuellen Kurvenpunkt laufen zusätzlich ein violetter Kreis und eine grüne Gerade. Der Radius des violetten Kreises entspricht exakt der „magnitude von S11“ (= dem Betrag des Eingangs-Reflektionsfaktors) von 0,421. Auf diesem Kreis bewegen wir uns, wenn wir in die Zuleitung zur Antenne eine Transmission Line mit 50Ω schalten und ihre Länge verändern.
Die grüne Gerade ist ein „Radiusvektor“ und ihr Schnittpunkt mit dem äußeren Rand des Smithdiagramms liefert dort die Phase von S11(hier: -52 Grad).

Bitte mal mit den Pfeiltasten die Frequenz verändern und die Bewegungen von violettem Kreis und grüner Gerade bewundern (..samt einer sich mitdrehenden inneren Skala des Smithcharts…ist etwas zum Knobeln….)



Links neben dem Smithchart gibt es noch zusätzliche Anzeigen in Form von Skalen, auf denen sich violette Zeiger bewegen.

Da muss man zuerst wissen, dass in der Mitte eine Trennlinie bzw. Nulllinie zu denken ist (= rot markiert).

In der oberen Hälfte wird das SWR entweder als dB-Wert oder als Spannungsverhältnis präsentiert.

In der unteren Hälfte findet man die Reflektionsdämpfung in dB (= return loss) sowie die Reflektionkoeffizienten für die Leistungen bzw. Spannungen.

Wer noch einen genauen Blick auf das Menü dieser Seite wirft, der findet die Themen „**Export**“ und „**Import**“

Damit kann man sich z. B. ein Touchstone-File (= S-Parameter-File) erstellen lassen und es exportieren bzw. irgendwo speichern. Dass man nicht nur zwischen „Magnitude / Phase“ und „dB“-Darstellung“ wählen kann, ist langsam selbstverständlich. Dass aber ein Abspeichern als Z-Parameter-File möglich ist, das ist schon eine Überraschung.

Und natürlich kann man auch fremde Touchstone-Files einzulesen und in diesem Smithchart darzustellen…

9. Optimieren (Taste F12)

Sobald ein Antennenentwurf prinzipiell funktioniert, möchte man ihn gerne optimieren. Die zugehörigen Werkzeuge verstecken sich hinter der Taste F12, aber eine zusätzliche Maßnahme ist erforderlich:

Alle Antennengrößen, an denen wir bei der Optimierung herumfingern wollen, müssen zuvor im NEC-File auf Variable mit einem bestimmten Ausgangswert (Startwert) umgestellt werden.

Deshalb wollen wir als Beispiel zuerst den Optimizer einsetzen und bei unserem Dipol die Antennenlänge automatisch solange verändern lassen, bis bei der gewünschten Resonanzfrequenz die Blindanteile der Eingangsimpedanz verschwinden.

9.1. Optimierung der Antennenlänge für den dicken Dipol aus Kapitel 7

Aufgabe:

Der dicke Dipol (aus Kapitel 7) soll eine Resonanzfrequenz von exakt 300MHz aufweisen -- die Resonatorlänge wird dabei solange verändert, bis nur noch der Ohm'sche Strahlungswiderstand messbar ist und die Blindanteile verschwunden sind.

1. Schritt

Dazu wird erst das NEC-File geöffnet und dafür gesorgt, dass die Strahlerlänge als Variable („Symbol") mit einem Startwert von 0,465m angegeben wird. Es muss sofort nach dem Ende der Kommentare und vor dem Beginn der Geometrieangaben folgende Zeile vorhanden sein:

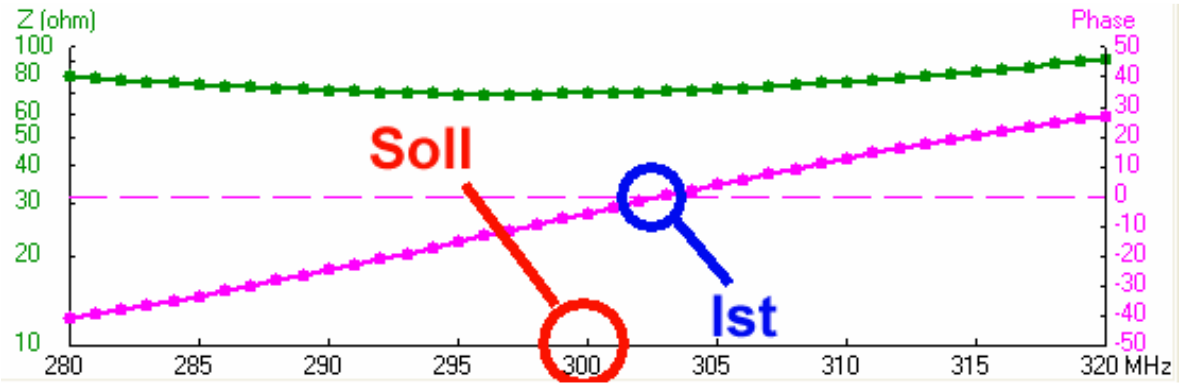
SY len=0.465

2. Schritt:

Nun sollte das NEC-File so aussehen:

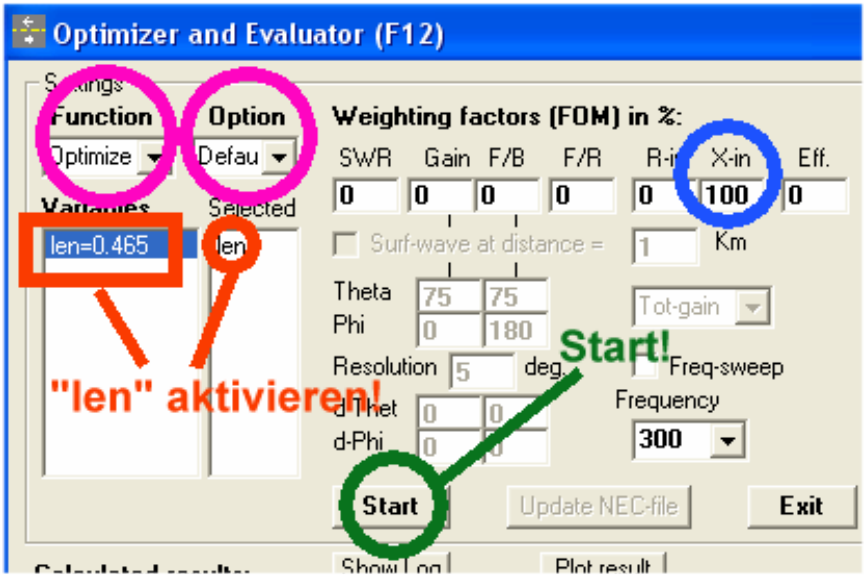
```
=====================================================================
CM   Example 2 :        Loaded dipole above Sommerfeld ground
CM                      Thick wire used (#3)
CE                      End of comment

SY   len=0.465                              ' Symbol: Length = 0.465m for WL/2

GW   1  9  0  -len/2 1  0  len/2  1  #3     ' Wire 1, 9 segments, halve wavelength long, 1m
                                            ‘ above ground, wire gauge: #3

GE   -1                                     ‘ Geometry data entering finished. Ground used, ends
                                            ‘of wires not connected to ground. GN ground card
                                            ‘necessary

LD5  1  0  0  58000000                      ' Wire conductivity

GN   2  0  0  0  13 0.005                   ‘ Sommerfeld ground, er = 13, conductivity =
                                            ‘0.005 Siemens / m

EK                                          ‘ Extended wire kernel used.

EX   0  1  5  0  1  0                       ' Voltage source (1+j0) at wire 1 segment 5.

FR0  0  0  0  300  0                        ‘ No sweep, frequency = 300MHz

EN                                          ‘ End of NEC file
=====================================================================
```

3. Schritt:



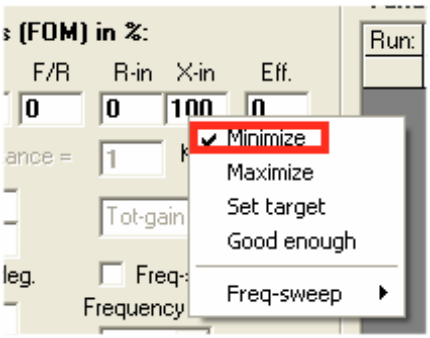
Wir simulieren diese Antenne (= Frequency sweep von 280 bis 320MHz) und lassen uns den Verlauf der Eingangsimpedanz zeigen. Hier sieht man nun genau, welche Aufgabe der Optimizer lösen soll.

4. Schritt:



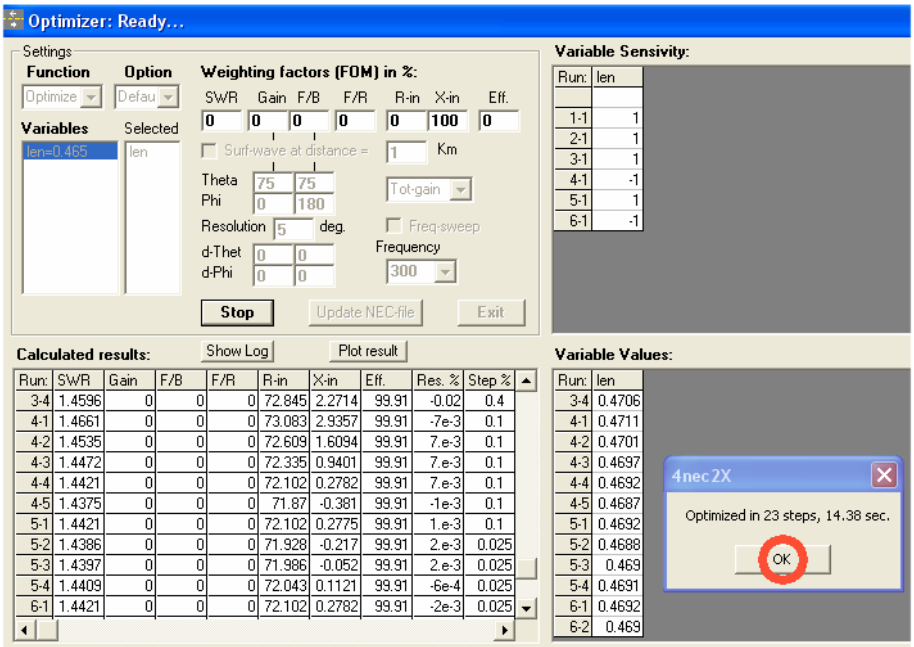
Also drücken wir die Taste F12 und programmieren die Optimierung. Zunächst kontrolliert man bei den beiden linken oberen Fenstern, ob als Funktion „**Optimize**“ und als Option „**Default**“ eingestellt ist. Anschließend wird diejenige Variable ausgewählt (und durch **Anklicken der entsprechenden Zeile aktiviert!**), die verändert werden soll.
Hier ist es die Länge „len“ **und man sollte sehr genau hinsehen, ob nun dieser Variablen-Name auch in der Spalte „Selected“ eingetragen wurde.**

Nun fehlt nur noch das Ziel, das durch die Optimierung erreicht werden soll. Man kann hier mehrere Eigenschaften der Antenne vorgeben und sie mit unterschiedlichen **Gewichtungsfaktoren (= figures of merit) in %** versehen. Wir wählen den Blindanteil der Eingangsimpedanz und geben ihm ein **Gewicht von 100%** (= blauer Kreis im obigen Diagramm).



Jetzt kommt eine wichtige Sache: wir klicken rechts auf dieses „**X-in**“-Fenster mit der eingetragenen Zahl „100“ und erhalten das nebenstehende Menü. **Darin wird gefordert, dass der Blindanteil durch die Optimierung möglichst auf Null gebracht werden soll**.

Nun darf endgültig die Starttaste in der Mitte des Bildschirms gedrückt werden! Dann rattert die Maschine los und wir können der Optimierung zusehen.

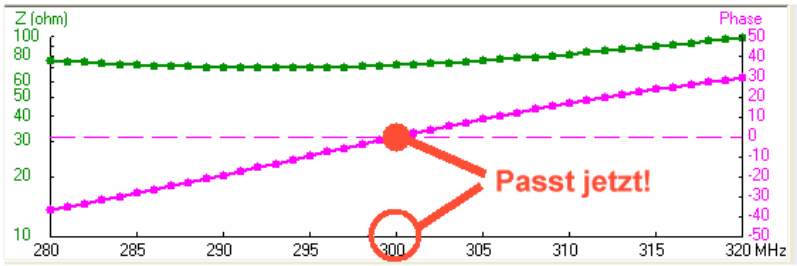


So sieht das Ergebnis schließlich aus und wir können beruhigt auf „OK“ drücken.

Dadurch verändert sich in der Mitte des Bildschirms etwas: wir können auswählen ob wir eine Zusammenfassung sehen wollen (resume) oder ob wir gleich das **NEC-File mit dem Optimierungsergebnis updaten** wollen.

Haben wir dagegen genug von diesem Spiel, drücken wir Exit.

Sobald wir **updaten**, öffnet sich gleich der korrekte Pfad für die Speicherung der neuen NEC-File Version und wir **finden anschließend darin einen neuen Wert von lenth = 0,4697**. Damit kann man eine neue Simulation (F7) mit demselben Frequency Sweep starten. Hier das Ergebnis:



Da kann man nur sagen: saubere Arbeit!

9.2. Der Parameter-Sweep

9.2.1. Eingangsimpedanz für unterschiedliche Antennenhöhen

Oft interessiert mehr, wie sich bestimmte Daten (Beispiel: Eingangsimpedanz) nicht nur mit der Frequenz, sondern grundsätzlich mit einer Antenneneigenschaft (Beispiel: Höhe über Grund) ändern. Für diesen Überblick setzt man den Parameter-Sweep ein, um hinterher Entscheidungen zu treffen. Das wollen wir wieder an unserem Beispiel ansehen.

Aufgabe:
Wie ändert sich bei f = 300 MHz die Eingangsimpedanz unseres dicken Dipols, wenn wir die „Höhe über Grund“ zwischen 0,5m und 1,5m in 20 Stufen verändern?

Schritt 1:
Mit Notepad öffnen wir unser NEC-File und korrigieren:

a) In der Zeile für die Variablen (Symbols) ist die Länge von 0,4697m durch die vorausgegangene Optimierung bereits eingetragen und wir ergänzen um die **Höhe hght = 1m**

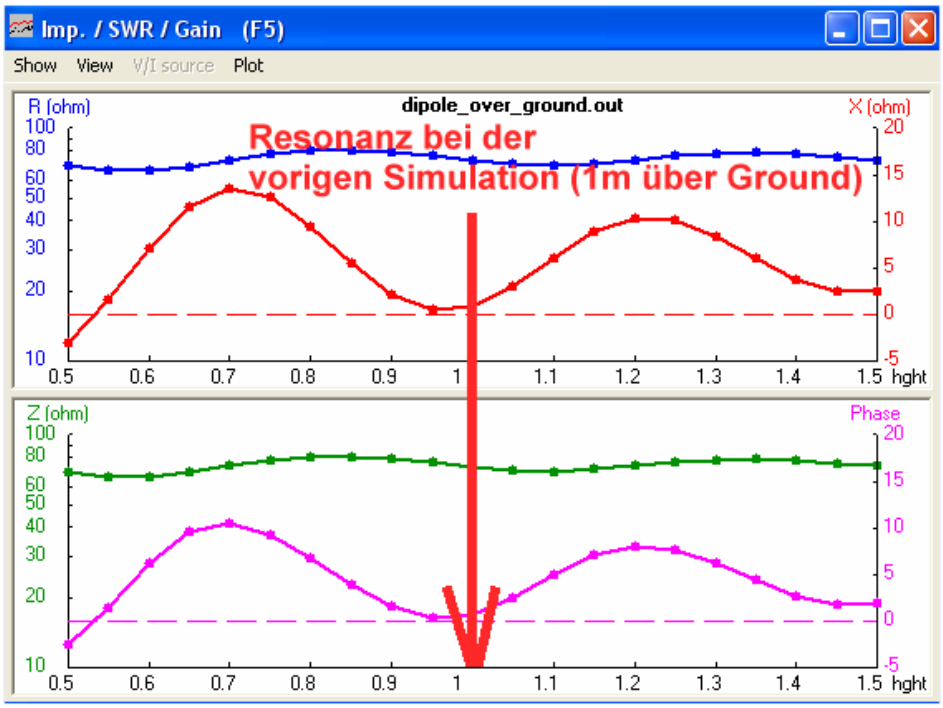
b) Die Höhe hght wird nun in die **GW-Karte anstelle des vorherigen Wertes von 1m übernommen.**

```
CM                                      Example 2 : Loaded dipole above Sommerfeld ground
CM                                      Thick wire used (#3)
CE                                      End of comment

SY    len=0.4697, hght=1                ‘ Symbols: Length = 0.4697m for WL/2, height = 1m

GW    1   9   0   -len/2 hght   0   len/2  hght  #3     ' Wire 1, 9 segments, halve wavelength long,
                                                        ‘default =1m above ground, wire gauge: #3

GE        -1                            ‘ Geometry data entering finished. Ground used, ends of wires
                                        ‘ not connected to ground. GN ground card necessary

LD 5  1   0   0   58000000              ' Wire conductivity on “Load” card
GN    2   0   0   0   13 0.005          ‘ Sommerfeld ground, er = 13, conductivity = 0.005 Siemens / m
EK                                      ‘ Extended wire kernel used.
EX    0   1   5   0   1   0             ' Voltage source (1+j0) at wire 1 segment 5.
FR0   0   0   0   300   0               ‘ No sweep, frequency = 300MHz
EN                                      ‘ End of NEC file
```

2. Schritt:
Der Optimizer wird über F12 gestartet und entsprechend programmiert.

Wir sweepen das Vertikal-Pattern für eine Höhe des Dipols zwischen 0,5m und 1,5m über Grund. Gefordert sind 20 Schritte bei einer Frequenz von f = 300MHz.

3. Schritt:



Der Sweep wird gestartet und sobald die Meldung „End of Sweep“ erscheint, auf OK geklickt.

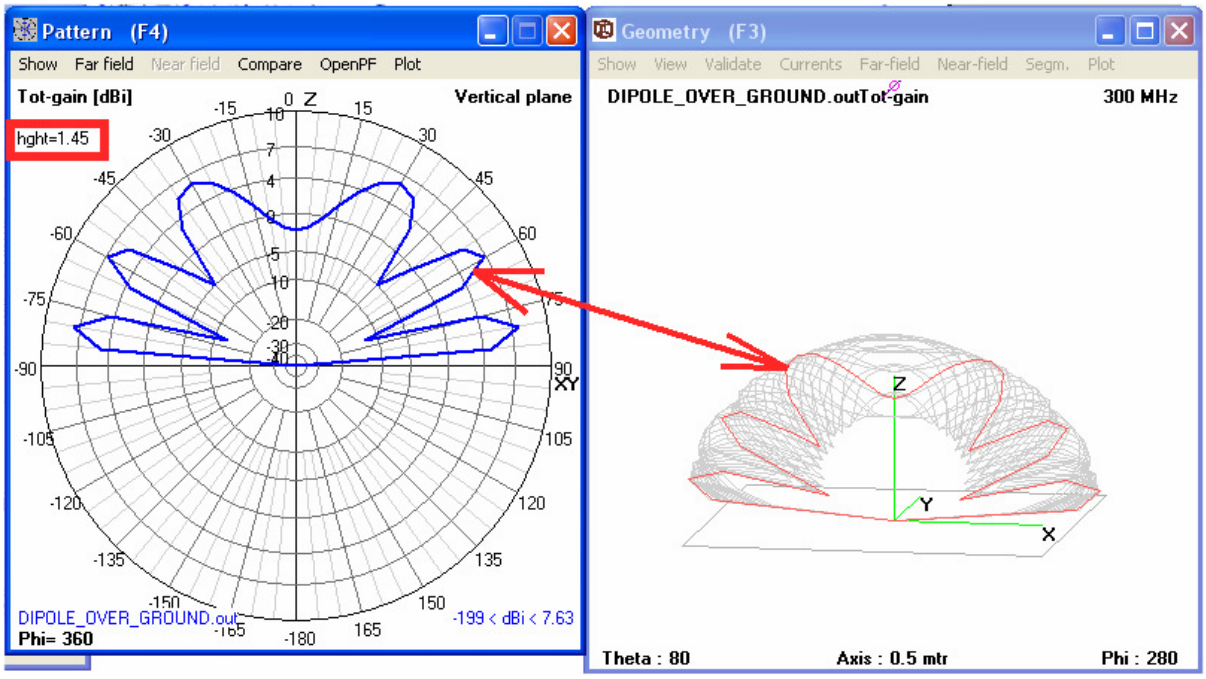
Die Taste F5 öffnet dann den Zugang zu den Daten von Impedanz, SWR und Gain und über „Show“ rufen wir uns das Ergebnis bei der Impedanz auf:

Sehr schön ist zu sehen, dass sich der (reale) Strahlungswiderstand von etwa 70Ω bei Variation der Höhe nur wenig ändert.

9.2.2. Farfield Pattern für unterschiedlichen Antennenhöhen

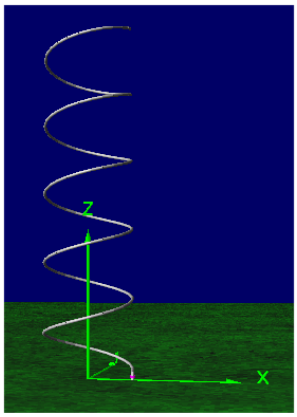
Das ist nun eine Kleinigkeit und dazu öffnen wir die Fenster F3 und F4.

In F3 wird stets eine Zusammenfassung von allen simulierten Pattern dargestellt, während in F4 immer nur ein einzelnes Pattern für eine bestimmte Höhe über Grund zu sehen ist.
Also klicken wir auf F4, um es zu aktivieren und können anschließend mit den beiden **horizontalen Cursor-Pfeiltasten** (**rechts** auf der Tastatur. Bitte nicht mit den linken „<“ und „>“-Tasten verwechseln!) in dieser Sammlung blättern. Das gerade in F4 sichtbare Pattern ist zusätzlich in F3 rot markiert, die zugehörige Höhe über Grund wird in F4 links oben eingeblendet.



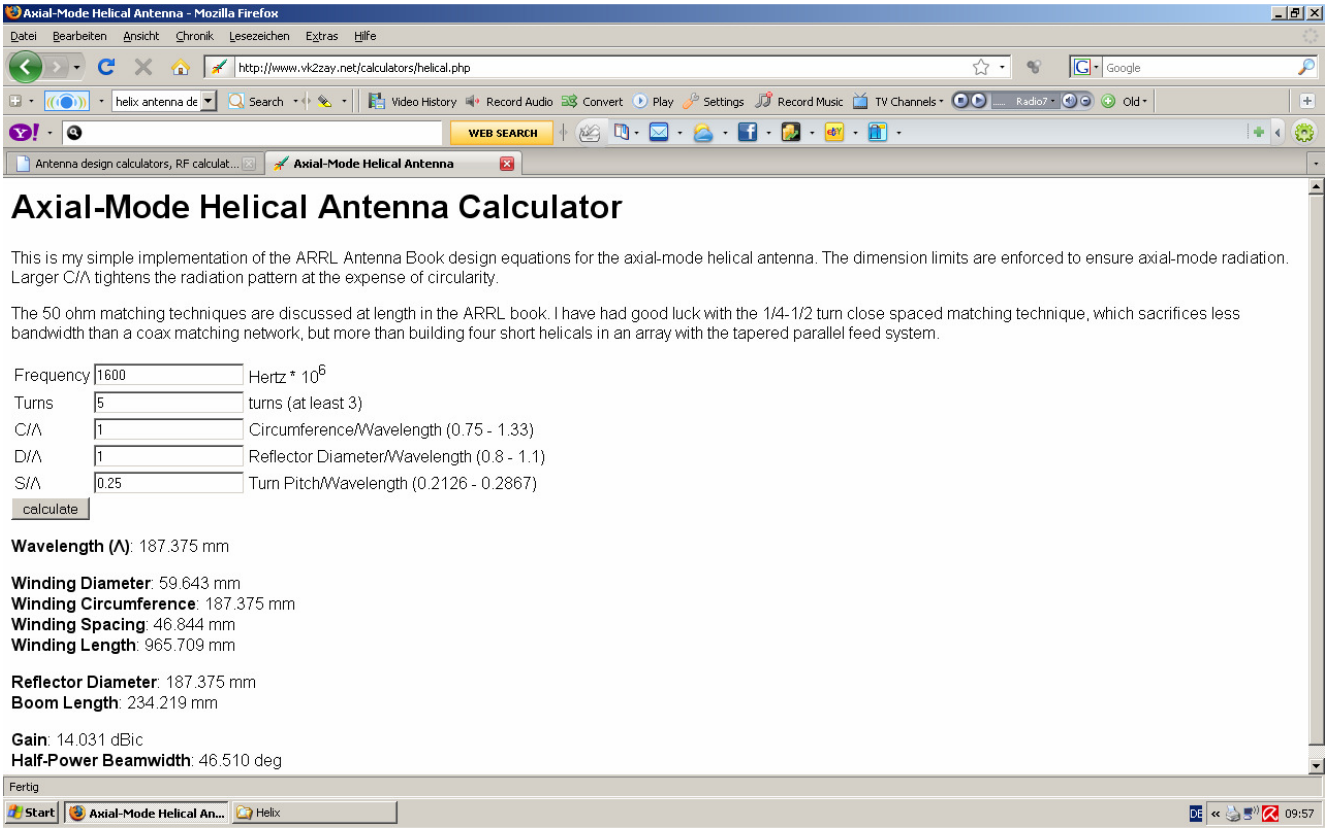
10. Drittes Projekt: Geometry Builder oder Texteditor für den Entwurf einer Helix-Antenne?

10.1. Einige Worte zur untersuchten Helix-Antenne



(Als Informationsquelle wurde das neueste „ARRL Antenna Book“ ab Seite 19-5 herangezogen. Ein hervorragendes Werk -- es kann nur wärmstens empfohlen werden).
Sie besteht aus mindestens drei Windungen Draht, die „schraubenförmig mit konstanter Steigung auseinander gezogen sind“. Dadurch erhält man eine gebündelte, zirkular polarisierte Abstrahlung in Richtung der Helix-Achse (….im Bild also: nach oben) mit einem maximalen Gewinn von mehr als 8dBi. Die Polarisation wird durch den Wickelsinn festgelegt.

Ihr Strahlungswiderstand beträgt ca. 140Ω, wenn Windungsumfang und Wellenlänge gleich groß sind. Steigt oder fällt das Verhältnis (gilt aber nur für den Bereich von 0,75…1.33), so ändert sich der Strahlungswiderstand im gleichen Maß. Da muss man sich schon noch Gedanken über die Anpassung machen. Als Vorteil haben wir jedoch eine erstaunliche Breitbandigkeit der Daten, was wir uns später zeigen lassen – und den bekannten Vorteil der Zirkularpolarisation, dass die Polarisation Antenne auf der Empfangsseite keine Rolle spielt.
Die Antenne sollte über „perfect ground“ arbeiten und deshalb findet man in der Praxis oft eine größere Metallplatte oder Metallscheibe (oder manchmal sogar einen kleinen Topf!) als Reflektor am unteren Ende.
Im Internet gibt es hierzu viel Informationen, aber auch hübsche Programme für den eigenen Entwurf. Sehr praktisch sind da Online Calculatoren, mit denen gleich nach dem Aufruf dimensioniert werden kann.



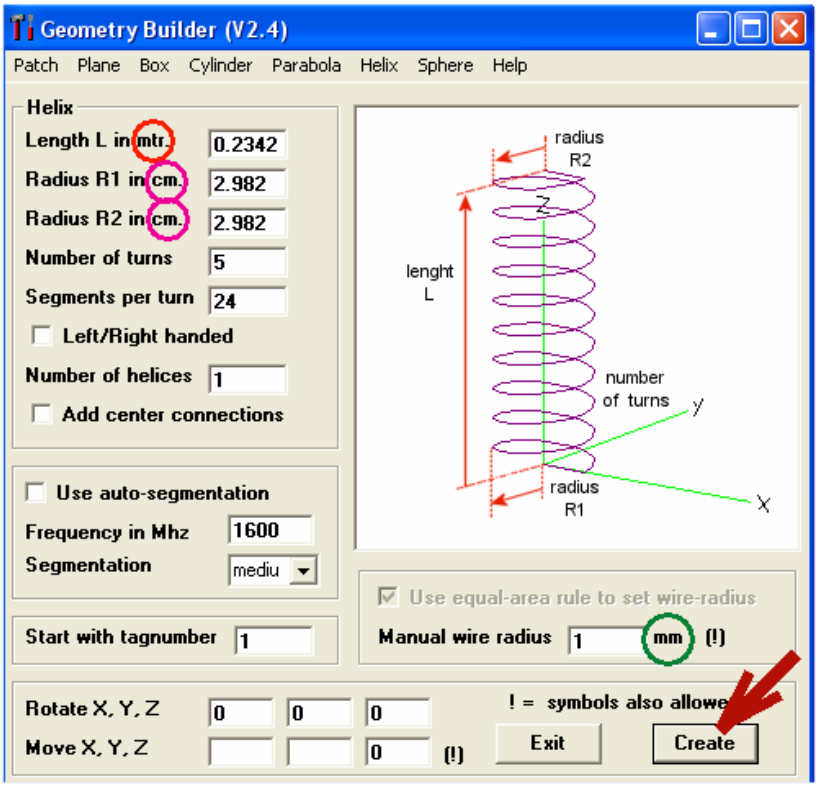
So **sieht das dann für eine Antenne aus, die für eine Mittenfrequenz von 1600MHz ausgelegt ist (…damit kann sie z. B. als GPS-Antenne oder für Meteosat-Empfang eingesetzt werden):**

Und das sind die Details nach dem Aufruf in der Homepage: **http:// www.vk2zay / calculators / helical.php**

Windungszahl =	**5**
Betriebsfrequenz =	**1600MHz**
Beam-Länge =	**234,219mm**
Steigung =	**46,844mm**
Windungsdurchmesser =	**59,643mm**
(Verwendet wird ein Draht mit 2 Millimetern Durchmesser)	

10.2. Entwurf mit dem Geometry Builder

Dazu rufen wir erst „**main**“, dann „**run**“ und darin „**Geometry Builder**“ auf. Wir brauchen die Karteikarte „**Helix**“ und füllen sie folgendermaßen aus:



Achtung:

Wir wollen den Draht in **24 Segmente pro Windung** aufteilen.

Der **Drahtradius beträgt 1mm** bei 2 mm Durchmesser.

Bei dieser Eingabemaske muss man etwas aufpassen, denn es werden drei verschiedene Maßeinheiten (Meter, Zentimeter, Millimeter) verwendet…

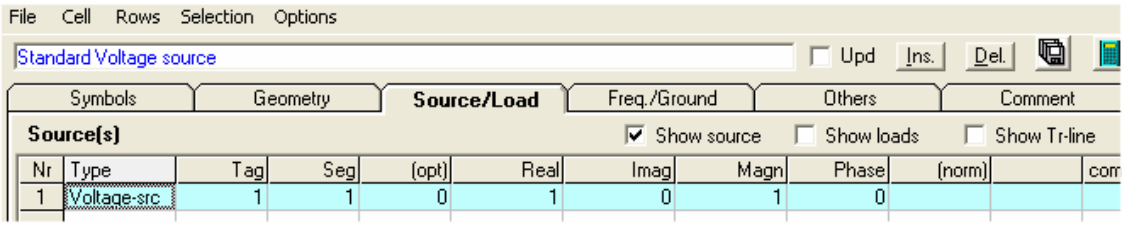
Da „Left / Right handed“ NICHT angeklickt ist, erhalten wir eine linksdrehende Wendel und damit ein linksdrehend zirkular polarisiertes abgestrahltes Antennensignal.

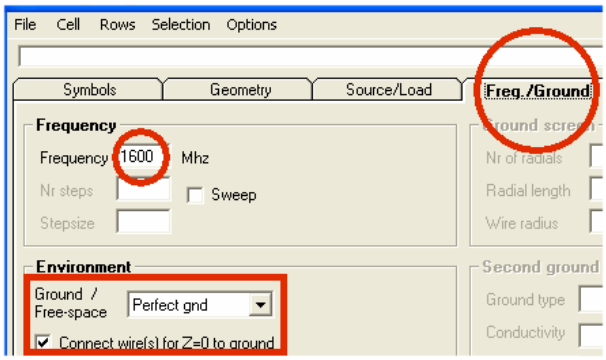
Stimmt alles, dann drücken wir „Create“ und erzeugen damit das zugehörige NEC-File. Es öffnet sich automatisch und ist wegen der 120 Segmente recht umfangreich. Wir speichern es sofort unter einem passenden Namen (z. B. „helix_01.nec“) an einem passenden Ort und schließen sowohl das Textfile wie auch den Geometry Builder.

Jetzt wird in „main“ unter „File“ dieses 4NEC2-Input-File geöffnet und anschließend unter „Settings“ der „NEC Editor (new)“ ausgewählt. Ein Druck auf die Taste F6 lässt den Vorhang für den nächsten Teil aufgehen.

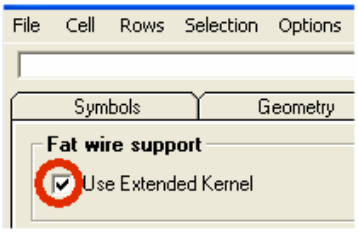
Auf der Karteikarte „Geometry“ kann man nun die Einträge für die 120 erzeugten Teilstücke (= Tags) mit ihren Koordinaten bewundern und prüfen, ob auch der Drahtradius mit 0,001m stimmt.

Dann wechseln wir auf die nächste Karte „**Source** / **Load**“ und sorgen dafür, dass die Spannungsquelle in „Tag 1“ und dessen „Segment 1“ angelegt wird (in bekannter Weise: ein reelles Signal mit einer Amplitude von 1V):





Nun geht es mit der Frequenz und dem Erdboden weiter: 1600MHz und „perfect ground“. Außerdem wird das Häkchen für Z = 0 gesetzt.

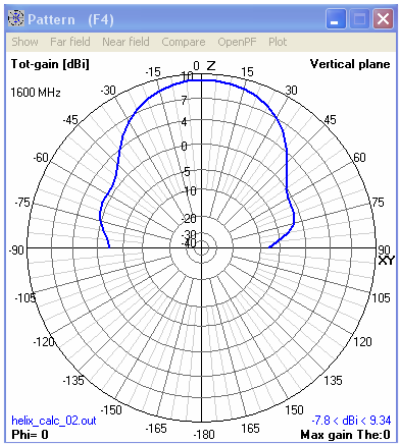


Auf der nächsten Karteikarte „**Others**“ sollte stets das Häkchen für die Unterstützung bei der Berechnung von Strukturen mit dicken Drähten (= **Fat wire support**) gesetzt sein.

Die letzte Karteikarte enthält nur Kommentare.

Dann wird dieses fertige File sorgfältig gespeichert.

10.3. Simulation des Fernfeldes

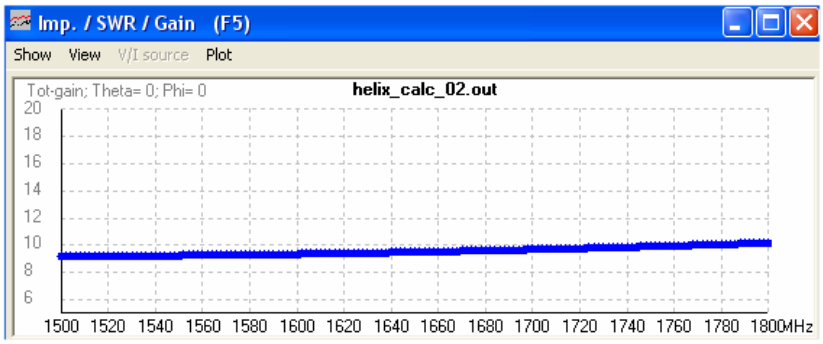


Wir drücken jetzt F7 und lassen uns das „Far field pattern“ simulieren. Der maximale Gewinn beträgt darin 9,34dBi

Zur Information:
Nach dem Druck auf F9 sieht man sehr gut die korrekte Speisung der Antenne:

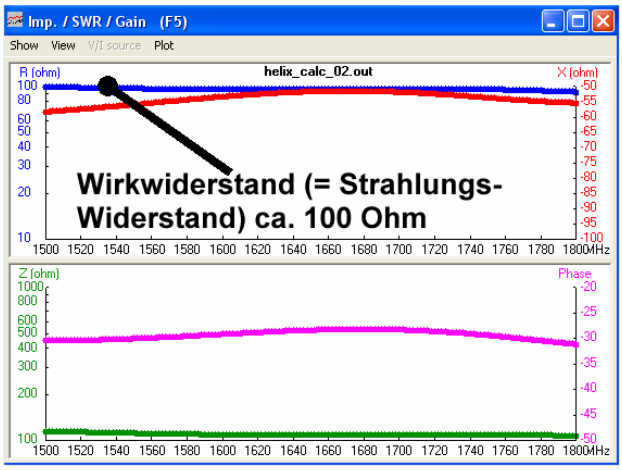
Das linke Ende des ersten Helix-Segments ist geerdet und in der Mitte dieses Segments ist die Spannungsquelle angeschlossen.

10.4. Frequency Sweep von Gain und Impedanz



Führt man nun einen Sweep für **Gain (= Antennengewinn)** von 1500 bis 1800MHz durch, dann sieht man sehr schön die erwähnte Breitbandigkeit dieser Antenne:

Der Gewinn steigt nur von ca. 9,2dBi bei 1500MHz auf ca. 10dBi bei 1800MHz an.



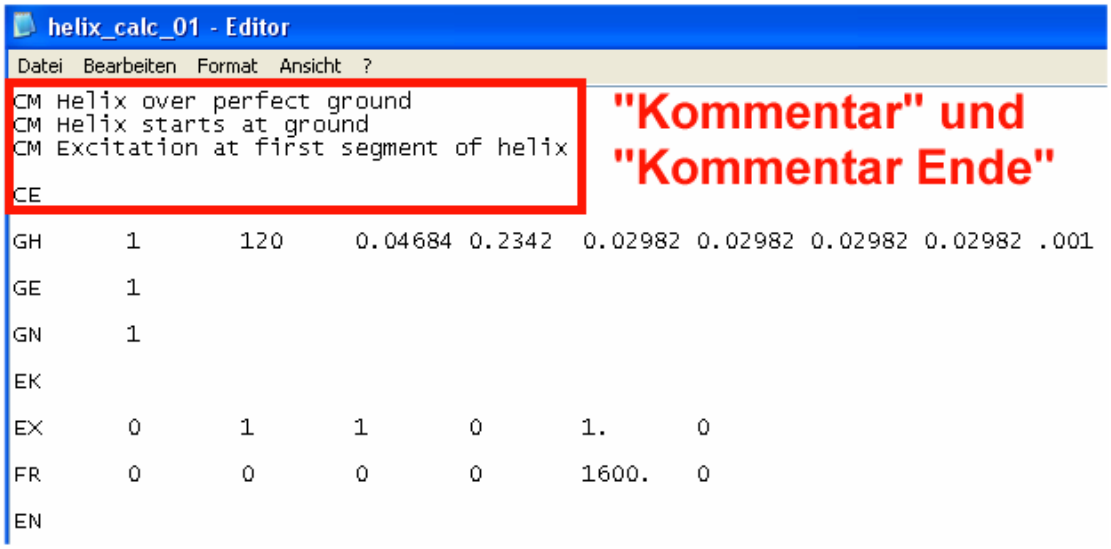
Auch bei der Eingangsimpedanz ist die Konstanz über der Frequenz sehr bemerkenswert:

Der Wirkanteil (= Strahlungswiderstand) bleibt praktisch konstant bei 100Ω.

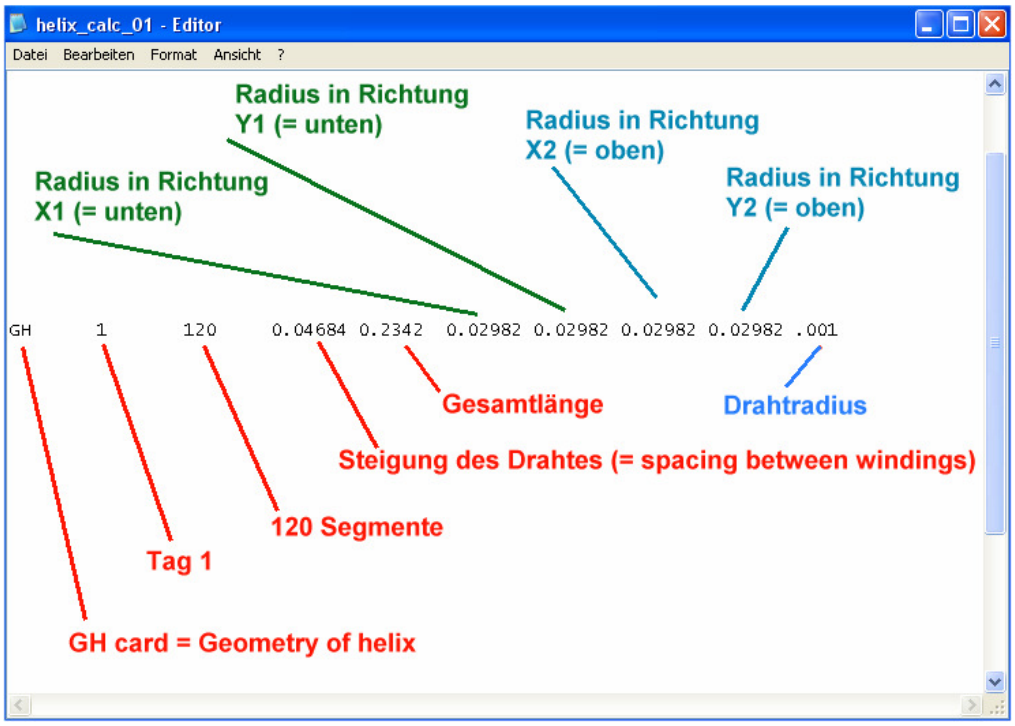
10.5. Dasselbe nochmals, aber ab jetzt immer mit dem Notepad-Texteditor

Dieses Verfahren ist im Vergleich zur vorigen Methode deutlich schneller, aber die Anforderungen an den Anwender sind höher. Wir gehen dabei so vor, dass wir das fertige NEC-File Zeile für Zeile analysieren und es als Muster für weitere Simulationen verwenden -- und versuchen, uns die Funktionen der einzelnen Cards zu merken. So sieht das Ergebnis aus -- und es ist viel kürzer als das vom Geometry Builder erzeugte NEC-File:

Packen wir es an.
Kommentarzeilen erkennt man an der „**CM**“ **card**. Das Ende der Kommentare markiert die „**CE**“ **card**.



Die nächste, nämlich die „**GH**“ **card** (= geometry of helix), beschreibt die **komplette Struktur der Helix** nach dem folgenden Schema.



==========

Sind alle vorkommenden Drähte der Struktur aufgelistet, dann ist die **Karte „GE“ (= end of geometry)** erforderlich. Allerdings ist auf dieser Karte noch das „**Ground Plane Flag**“ untergebracht und da muss man schon im mitgelieferten NEC-Manual nachsehen, was es bewirkt. Hier der Originaltext aus dem Manual:

```
gpflag - Geometry ground plain flag.

     0 - no ground plane is present.

     1 - Indicates a ground plane is present. Structure symmetry is
     modified as required, and the current expansion is modified so
     that the currents in segments touching the ground (x, Y plane) are
     interpolated to their images below the ground (charge at base is
     zero)

     -1 - indicates a ground is present. Structure symmetry is modified
     as required. Current expansion, however, is not modified, Thus,
     currents on segments touching the ground will go to zero at the
     ground.
```

Damit wird es langsam klar:

gpflag = 0 bedeutet, dass **kein Erdboden** zu berücksichtigen ist.

Ist jedoch ein Erdboden vorhanden, dann muss das gpflag auf +1 oder auf -1 gesetzt und eine zusätzliche „GN card“ (= ground card) im NEC – File angelegt werden.

Liest man sich den obigen Originaltext durch, dann wird es klarer: **wir brauchen gpflag = 1, damit der Anfang der Helix wirklich mit dem Erdboden verbunden ist.**

==========

Die „**GN**“ card (= ground card) folgt gleich hinterher. Auch hier ist ein Blick in das NEC-Manual nützlich, da wieder ein Flag folgt:

IPERF (I1) - Ground-type flag. The options are:	
-1	nullifies ground parameters previously used and sets free-space condition. The remainder of the card is left blank in this case.
O	finite ground, reflection-coefficient approximation.
1	perfectly conducting ground.
2	finite ground, Sommerfeld/Norton method.

In unserem Fall verwenden wir den „**perfectly conducting ground**“ (= ideal leitenden Boden) und **setzen deshalb dieses Flag auf „1“**. **Bei „finite ground“ sind dann auf dieser Karte noch weitere Angaben über die Dielektrizitätskonstante und die Bodenleitfähigkeit erforderlich!**

==========

„**EK**“ bedeutet „**Extended thin wire kernel**“ und damit wird die Simulationsgenauigkeit bei größeren und / oder extremen Drahtstärken erhöht. So liest sich das im Manual:

```
ITMP1 (I1) - Blank or zero to initiate use of the extended thin-
                    wire kernel.

             -1 to return to the standard thin-wire kernel.
```

Wir nützen diese Verbesserung und deshalb steht in unserem NEC File einfach „EK“

==========

„**EX**“ bedeutet „Exitation“, also Anregung der Struktur durch eine Energiequelle. Gehen wir mal die Zeile durch:

„**0**“ = diese Null heißt, dass mit einer **Spannungsquelle** gearbeitet wird.

„**1**“ heißt, dass in **Tag 1** angeregt wird

„**1**“ bezeichnet das **Segment von Tag 1**, bei dem die Spannungsquelle (in der Mitte) angeschlossen ist.

„**0**“ ist wieder mal ein leeres Feld auf der Karteikarte.

„**1 0**“ ergibt den **Realteil und den Imaginärteil der angelegten komplexen Spannung (also 1 + j0).** Hier arbeiten wir nur mit einer reellen Spannung von 1V

==========

„**FR**“ gibt nicht nur die **Frequenz** an, bei der gearbeitet wird. Es ist nämlich im Normalfall ein **Sweep** vorgesehen und deshalb wird etwas mehr Information nötig.

„**0**“ bedeutet „linearen Sweep“ (…“1“ wäre dann logarithmisch…)

„**0**“ sagt dann, dass nur eine Simulation für den Startwert vorgenommen und kein zusätzlicher Frequenzschritt
ausgeführt werden soll.

„**0 0**“ sind mal wieder zwei leere Felder auf der Karte.

„**1600**“ ergibt die Startfrequenz von 1600MHz.

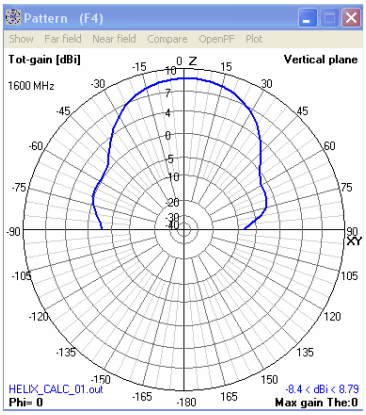
„**0**“ erzeugt eine Schrittweite von Null MHz

==========

„**EN**“ schließt endlich das NEC File ab und heißt „Ende“……

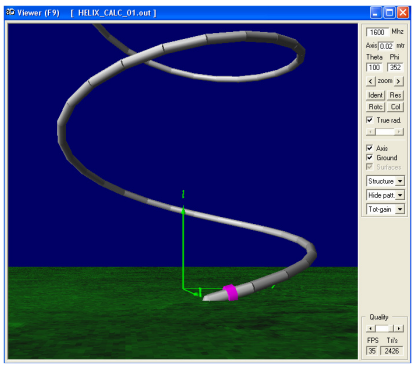
==========

10.6. Nochmals: Simulation des Fernfeldes



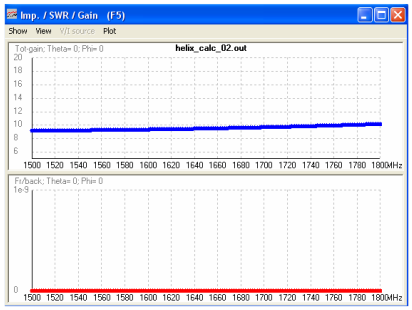
Das Bild sollte so aussehen wie in Kapitel 9.3.

Die Form des Patterns stimmt überein, aber der maximale Gewinn wird nur mit 8,9dBi statt mit 9,3dBi ausgewiesen.

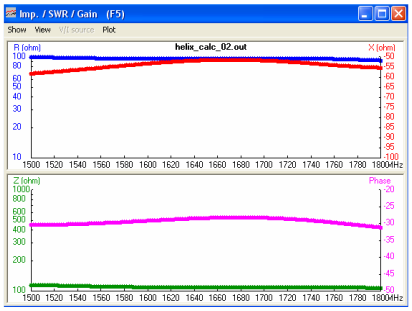


Eine Kontrolle über F9 zeigt, dass Segment 1 korrekt am unteren Ende geerdet und die Spannungsquelle in der Mitte dieses Segmentes angeschlossen ist.

10.7. Nochmals: Frequency Sweep von Gain und Impedanz



Im oberen Diagramm haben wir wieder den Verlauf des **Gewinns** über der Frequenz und da gibt es (außer dem etwas kleineren Absolutwert) keinen Unterschied zu Kapitel 9.4.



Bei der **Impedanz** sind sogar beide Diagramme völlig identisch und wir können wieder den praktisch konstanten Strahlungswiderstand von 100Ω bewundern.

10.8. Speisung der Antenne über ein kurzes Drahtstück

Dieser Fall entspricht mehr der Praxis, denn meist erfolgt die Versorgung dieser Antenne über ein Koaxialkabel, das von unten her durch die Reflektorplatte herangeführt wird. Der Außenleiter des Kabels wird dann an die Platte angelötet, die eine kleine Bohrung aufweist. Der Helixanfang ist durch diese Öffnung mit dem Innenleiter des Kabels verbunden. Gleichzeitig wird aber die Helixstruktur etwas „angehoben“, damit ihr Anfang die Reflektorplatte nicht berühren kann.

Deshalb ändern wir das Projekt so ab, dass

a) die **Antennenstruktur um 5 mm angehoben** wird und

b) die Erregung durch ein kurzes **Drahtstück (Durchmesser: 2mm, wie die Helix…) vom Helixanfang zum „perfect ground“** erfolgt. In dessen Mitte befindet sich die anregende Spannungsquelle.

Das erledigen wir direkt mit Notepad im NEC-File und erweitern es so:

helix_calc_05 - Editor

Datei Bearbeiten Format Ansicht ?

```
CM Helix over perfect ground
CM Helix starts 5mm above ground
CM wire added between helix and ground
CM Excitation at center of this wire
CE

GH      1       120     0.04684 0.2342  0.02982 0.02982 0.02982 0.02982 .001
GM      0       0       0       0       0       0       0       0.005   0
GW      130     1       .02982  0       0       0.02982 0       0.005   0.001
GE      1
GN      1
EK
EX      0       130     1       0       1.      0
FR      0       0       0       0       1600.   0
EN
```

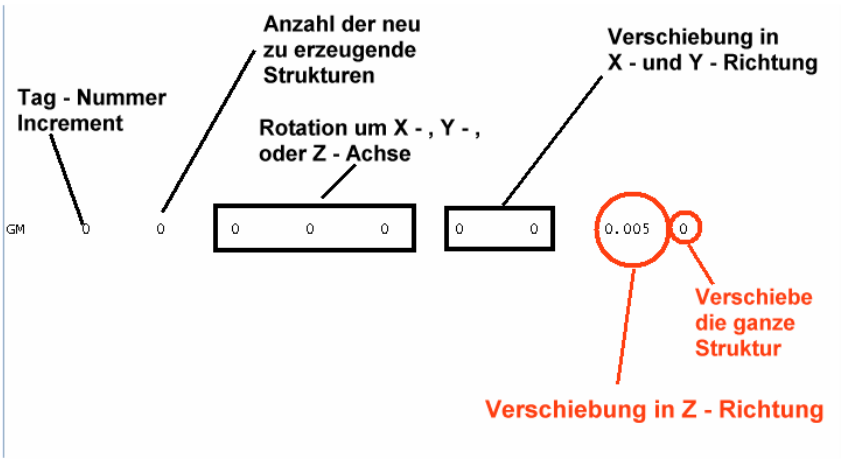
Neuer Kommentar

Darin wurde der Kommentar geändert, zwei neue Zeilen eingefügt und die Erregung in das eingefügte Drahtstück verlegt.

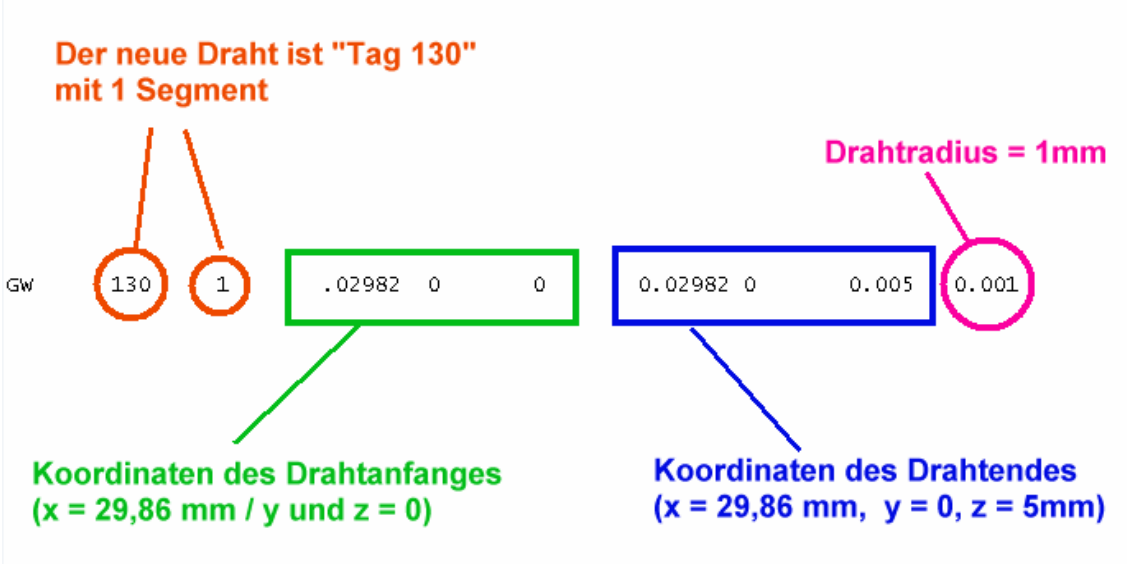
Erläuterungen der eingefügten bzw. geänderten Karten:

a) **Verschiebung**

Mit der „**GM**“ card lassen sich Strukturen drehen, verschieben und kopieren. Das ist etwas komplizierter und dazu ist ein genaues Studium der zugehörigen Erklärung im NEC Manual nötig. Aber für unser kleines Problem (= Verschiebung der Struktur um 5 mm nach oben) reicht der Eintrag von 5mm am passenden Platz in der Zeile

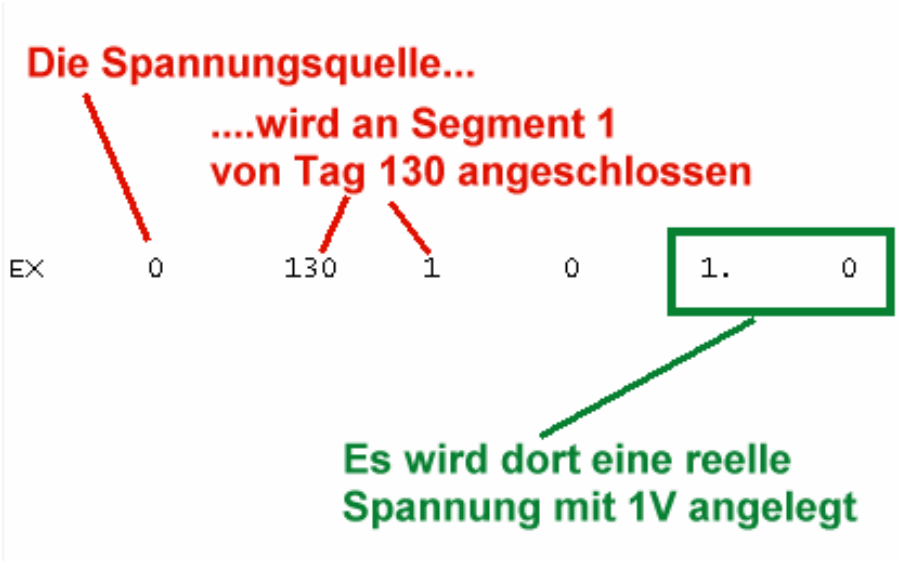


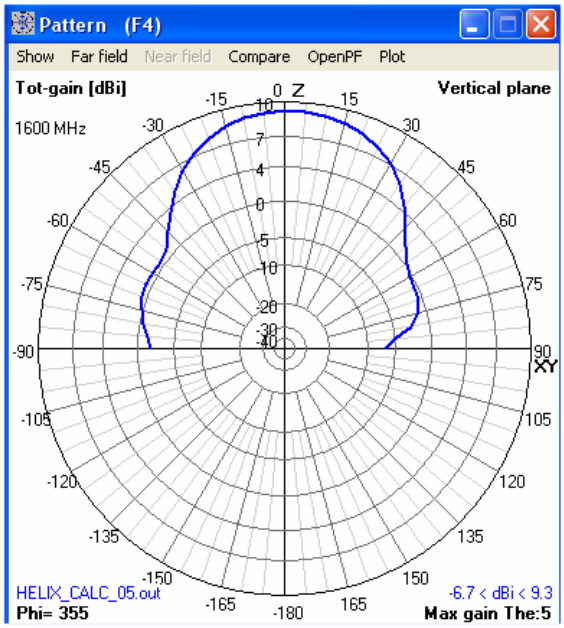
b) **Der zusätzliche Anschlussdraht**
Nachdem die Helix um 5mm nach oben bewegt wurde, muss zwischen Ground und Helix-Anfang ein „Wire“ (als „Tag 130“) mit einem Segment eingefügt werden. In seiner Mitte ist die erregende Spannungsquelle angeschlossen. Hier die Details:



==========

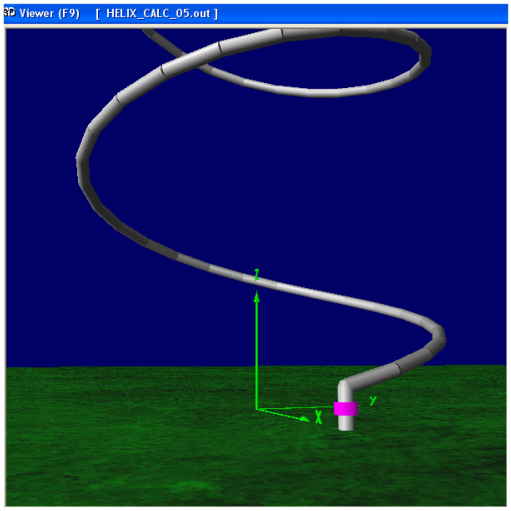
c) **Die geänderte Excitation**





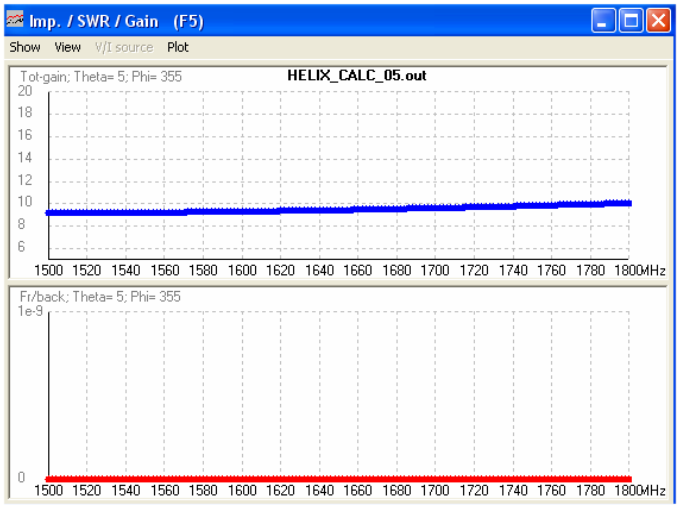
Nun starten wir über F7 die **Fernfeldsimulation**.

Da haben wir zuerst das Pattern, bei dem sich weder die Form noch der Maximalwert des Gewinns gegenüber den letzten Simulationen wesentlich geändert haben.

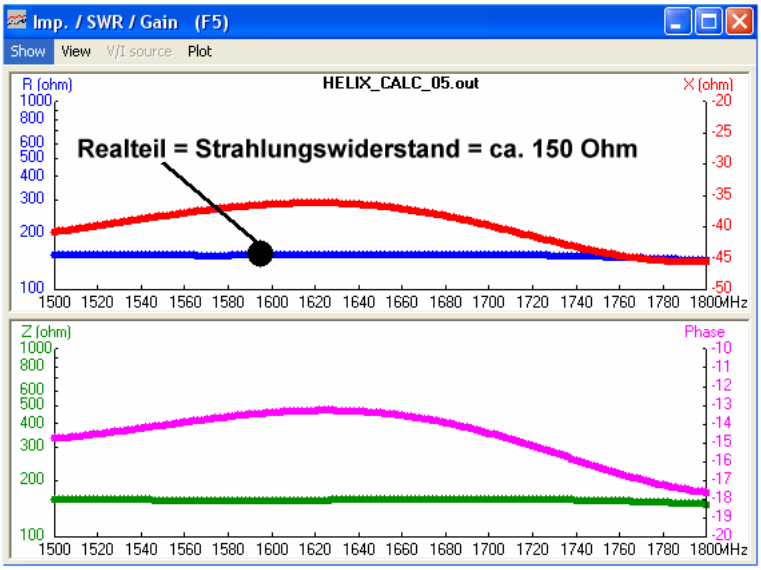


Und wenn man F9 aufruft, sieht man sehr schön die Verschiebung der Helix nach oben und das eingefügte Drahtstück samt erregender Spannungsquelle in seiner Mitte (= violett)

Interessant ist dagegen der Frequency Sweep von 1500 bis 1800MHz.



Der Verlauf des Antennengewinns („Total Gain“, oberes Diagramm) zeigt keine Überraschung, denn der steigt wie vorher von 9,2dBi bei 1500MHz bis auf 10dBi bei 1800MHz an.



Aber bei der Eingangsimpedanz hat sich doch etwas getan:

Der Realteil (= Strahlungswiderstand) liegt nun wegen des größeren Abstandes zwischen Helix und Ground bei ca. 150Ω.

Auch der Blindanteil weist nun einen etwas anderen Verlauf auf.

Anhang:
Kurze Übersicht der wichtigsten „Cards“ zum Nachschlagen

Das sind die am häufigsten verwendeten Karten.

„**CM**“ bedeutet einen **Kommentar** in jeder Zeile, der maximal 30 Zeichen umfassen darf.

„**CE**“ heißt „**Ende des Kommentars**“

„**SY**“ bedeutet „**Symbol**“ und damit wird eine **Variable** (oder mehrere, durch ein Komma getrennt) definiert. Ist nötig zum Optimieren oder zum Parameter Sweep.
Beispiel:
SY len=0.4836 ‘ Symbol for length = 0,4836m

„**GW**“ heißt „**Geometry of wire**“ und da wird es schon etwas aufwendiger. Die folgenden Zahlen bedeuten nacheinander:

Tag - Nummer/ Anzahl der Segmente / XYZ-Koordinaten des Startpunktes / XYZ-Koordinaten des Endpunktes / Drahtradius in Metern.

Beispiel:
GW 1 9 0 -len/2 0 0 len/2 0 0.001

„**GM**“ heißt „**Geometry Move**“ und damit lassen sich Strukturen drehen, verschieben und kopieren. Das ist etwas komplizierter und dazu ist ein genaues Studium der zugehörigen Erklärung im NEC Manual nötig. Aber für ein kleines Problem wie z. B. die Verschiebung der kompletten Struktur um 5 mm nach oben reicht der Eintrag von 5mm = 0,005m am passenden Platz in der Zeile. Hier die zugehörige Zeile aus dem NEC-File der Helixantenne:

GM 0 0 0 0 0 0 0 0.005 0

„**GE**“ bedeutet „Ende der Draht-Geometrieangaben“. Der Zusatz „**0**“ gibt an, dass **kein Erdboden** vorhanden ist.
Alternativen wären „-1“ oder „1“, aber dann ist zwingend eine zusätzliche “**Ground-Karte“ (= GN card)** mit exakten Bodendaten erforderlich. Hier die korrekte Erklärung aus dem NEC2-Handbuch:

```
0 - no ground plane is present.

1 - Indicates a ground plane is present. Structure symmetry
is modified as required, and the current expansion is
modified so that the currents on segments touching the
ground (x, Y plane) are interpolated to their images below
the ground (charge at base is zero)

-1 - indicates a ground is present. Structure symmetry is
modified as required. Current expansion, however, is not
modified, Thus, currents on segments touching the ground
will go to zero at the ground.
```

Beispiel:
GE 0

„**LD**“ steht für „**Loading of a segment**“. Davon gibt es ein ganzes Sortiment und man muss entweder die Online-Hilfe (NEC Short reference) bzw. das ebenfalls in der Online-Hilfe bereitstehende Original-Manual zu Rate ziehen, um diese Option richtig einsetzen zu können.

Es wird sehr oft mit „**LD 5**“ gearbeitet und das steht für die **Eingabe der Leitfähigkeit des Antennendrahtes.**
Zuerst kommt die Tag-Nummer, dann folgen zwei leere Spalten.
„**5.8001E7**“ stellt schließlich die **Leitwertsangabe für Kupfer** (in Siemens / m) dar.

Beispiel:
LD 5 1 0 0 5.8001E7

„**GN**“ liefert die Angaben über den Erdboden (= **Ground**) und diese Karte ist zwingend vorgeschrieben, sobald hinter „**GE**“ die Zahl „1“ oder „-1“ folgt.

Auch hier muss man unbedingt das **NEC2-Manual mit dem Kapitel „Ground Parameters“** zu Rate ziehen, um die unterschiedlichen Möglichkeiten auszuschöpfen, da von „freespace“ über „finite ground“ und „perfect ground“ bis hin zu „Sommerfeld / Norton ground“ alles möglich ist. Und da müssen teilweise auch die Bodendaten (Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit) angegeben werden.

Beispiel:
GE -1 ‘ Geometry data entering finished. Ground used, ends of
‘wires not connected to ground. GN ground card necessary

GN 2 0 0 0 13 0.005 ‘ Sommerfeld ground, er = 13,
‘conductivity = 0.005 Siemens / m

„**EK**“ bedeutet „**Extended thin wire kernel**“ und damit wird die Simulationsgenauigkeit bei größeren und / oder extremen Drahtstärken erhöht. So liest sich das im Manual:

```
ITMP1 (I1) - Blank or zero to initiate use of the extended thin-
             wire kernel.

-1 to return to the standard thin-wire kernel.
```

Beispiel:
EK

„**EX**“ bedeutet „**Exitation**“, also **Anregung der Struktur durch eine Energiequelle**.

Beispiel: **EX 0 1 5 0 1 0**

Bedeutung:

„**0**“ heißt Anregung durch eine Spannungsquelle

Die Spannungsquelle ist an **Tag 1** / **Segment 5** angeschlossen

„**0**“ ist wieder mal ein leeres Feld auf der Karteikarte.

„**1 0**“ ergibt den **Realteil und den Imaginärteil der angelegten komplexen Spannung (also 1 + j0).** Hier arbeiten wir mit einer reellen Spannung von 1V

„**FR**“ gibt nicht nur die **Frequenz** an, bei der gearbeitet wird. Es ist nämlich im Normalfall ein **Sweep** vorgesehen und deshalb wird etwas mehr Information nötig.

a) **Beispiel für die Simulation bei nur einer Frequenz:**

FR 0 1 0 0 300 0

„**0**“ bedeutet „**linearer Sweep**“ (…“1“ wäre dann logarithmisch…)

„**1**“ sagt dann, dass in diesem Beispiel nur ein einziger Frequenzschritt ausgeführt werden soll.

„**0 0**“ sind mal wieder zwei leere Felder auf der Karte.

„**300**“ würde einen Startwert von 300MHz bei der Frequenz ergeben.

„**0**“ würde eine Schrittweite von Null MHz und damit eine Festfrequenz programmieren

b) **Beispiel für einen Sweep im Frequenzbereich:**

FR 0 5 0 0 144. 1.0

Bedeutung:
Linearer Sweep / **5 Schritte** / **Startfrequenz = 144MHz** / **Schrittweite = 1MHz**

„**EN**“ steht für das Ende des NEC-Files, korrekt: „End of Run“