

Antennensimulation mit NEC

Gerald Schuller, DL5BBN, Aug. 2015

Ziel: Berechnung

- des Richtdiagramms
- der komplexen Impedanz
- des SWR

einer Antenne aus ihrer
Konstruktionszeichnung

Problem: Wie bekommen wir aus der
Konstruktionszeichnung und Anwendung der
Elektromagnetischen Feldtheorie die
gesuchten Daten?

Ansatz: Numerische Simulation

- durch die Maxwell'schen Gleichungen zur
Feldberechnung
- Lösung der Maxwell'schen Gleichungen mit
Hilfe der "Boundary Elements Method" bzw.

der "Method of Moments".

Maxwellsche Gleichungen:

Diese beschreiben den Zusammenhang zwischen den folgenden elektromagnetischen Feldgrößen. Sie haben alle eine Richtung im Raum, sind also 3-dimensional Vektoren, daher das Vektorsymbol (Pfeil), und sind abhängig von der Zeit (wir haben Hochfrequenz, daher die Zeitvariable t):

Elektrische Feldstärke $\vec{E}(t)$

Elektrische Flussdichte $\vec{D}(t)$

Magnetische Feldstärke $\vec{H}(t)$

Magnetische Flussdichte $\vec{B}(t)$

Wenn wir keinen externen elektrischen oder magnetischen Felder berücksichtigen gilt:

$$\vec{D}(t) = \epsilon_0 \cdot \vec{E}(t)$$

$$\vec{H}(t) = \frac{1}{\mu_0} \cdot \vec{B}(t)$$

mit der elektrischen Feldkonstanten ϵ_0

und der magnetische Feldkonstanten μ_0

Beide haengen zusammen mit:

$$\mu_0 \cdot \epsilon_0 = \frac{1}{c^2} \quad (c: \text{Lichtgeschwindigkeit})$$

Die (sog. Mikroskopischen) **Maxwellischen Gleichungen** sind:

1. $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$: Die Ladung aus der Ladungsdichte ρ ist Quelle und Senke elektrischer Feldlinien.
2. $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$: Es gibt keine magnetischen Monopole.
3. $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\delta \vec{B}}{\delta t}$: Aenderungen der magnetische Flussdichte fuehren zu einem elektrischen Wirbeleld.
4. $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\delta \vec{E}}{\delta t}$: Elektrischer Strom mit der Vektor-Stromdichte \vec{j} und

Aenderungen des elektrischen Feldes
fuehren zu einem magnetischen
Wirbelfeld.

Die Maxwell Gleichungen sind z.B.
beschrieben unter:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Maxwell-
Gleichungen](http://de.wikipedia.org/wiki/Maxwell-Gleichungen)

Die Loesungen der Maxwell-Gleichungen
sind nicht offensichtlich. Daher wird vom
Programm NEC (Numerical Electromagnetics
Code), welches Grundlage von EZNec und
Xnec2c ist, die sog. **Boundary Element
Method** (Randelement-Methode) verwendet
(sh. Auch [http://www.iam.uni-
stuttgart.de/forschung/num_mod/bem.html](http://www.iam.uni-stuttgart.de/forschung/num_mod/bem.html)).

Dabei wird die Oberflaeche unserer
Antennenstruktur in **kleine Teile** unterteilt,
innerhalb derer gleiche elektromagnetische
Werte angenommen werden. Das bedeutet
dass die Segmente deutlich kleiner als die
Wellenlaenge sein muessen
(Groessenordnung ca. 1/20 oder kleiner), um

zu grosse Fehler zu vermeiden! Zu viele Segmente bedeuten allerdings laengere Simulationsdauer, oder auch zu "seltsamen" Ergebnissen durch numerische Begrenzungen.

Das Programm "Numerical Electromagnetics Code" (NEC)

Dies ist ein Programm was am Lawrence-Livermore Laboratory in New Mexico, USA, von Gerald J. Burke und Andrew J. Poggio entwickelt wurde, gesponsort vom Naval Ocean Systems Center und der Air Force Weapons Laboratory, mit Beiträgen von der Ohio State University.

Die Anfänge waren in den 1970er Jahren, Weiterentwicklungen in den 1980ern und 1990ern, als **NEC2** und **NEC 4**.

(siehe auch:

http://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_Electromagnetics_Code

und

<http://www.nec2.org/other/nec2prt3.pdf>)

Ursprünglich in FORTRAN geschrieben.

Nec2 ist in der Zwischenzeit zu OpenSource geworden.

Nec4 ist eine kommerzielle Version mit spezieller Lizenz vom Lawrence Livermore Labs.

Es gibt eine Reihe von Programmen, die besonders Nec2 als Kern verwenden.

Freie Programme sind:

-4Nec2 ist ein freies Programm fuer Windows, was auch optimierungs-Routinen enthaelt.

-EZNEC ist ein kommerzielles Programm was auf Nec3 basiert, wovon es eine Trial Version gibt. Dessen Input Files sind allerdings binaer-Dateien.

-**Xnec2c** ist ein OpenSource Programm was auf Nec 2 aufbaut ist, fuer Linux und BSD Unix. Es wurde von FORTRAN nach C konvertiert (daher das "2c"), und an die graphische X-Windows Oberflaeche angepasst (daher das "X").

Es ist in den gaengigen Linux-Paketquellen vorhanden, z.B. im Ubuntu **Software**

Center, und laesst sich daher auch sehr einfach durch folgende Kommandozeile installieren:

```
sudo apt-get install xnec2c
```

Xnec2c Input

Der Kern Nec2 geht praktischerweise von einem Text file als Input aus (ASCII). In diesem Textfile wird die Antennengeometrie beschrieben, und es werden Simulationsanweisungen gegeben, wie Frequenzbereich und der zu berechnende Winkelbereich.

Wahrscheinlich die simpelste Art der Eingabe ist dieses Textfile direkt mit einem Editor zu editieren, obwohl xnec2c auch einen eigenen Editor enthaelt.

Das textfile wird Zeilenweise abgearbeitet, jede Zeile beginnt mit einem "Befehl", gefolgt von genau 9 "Argumenten". Der "Befehl" besteht aus genau 2 Buchstaben. Diese Zeilen werden auch als "Cards" bezeichnet. Die vollstaendige Beschreibung

als Nachschlagewerk sollte man sich praktischerweise herunter laden, von:
<http://www.nec2.org/other/nec2prt3.pdf>.

Jede Zeile beginnt daher mit 2 Buchstaben (Name der Card, der "Befehl"), gefolgt von genau 9 Integer oder Float Zahlen (die "Argumente" des Befehls), wobei xnec2c nicht zwischen float und integer Zahlen unterscheidet.

Die wichtigsten Zeilen bzw. Funktionen (**Cards**) im Input file sind folgende:

CM: Comment, nur am Anfang des Files, sollte eine hilfreiche Beschreibung enthalten. Wird beendet mit einer Zeile mit "**CE**" am Anfang. Beispiel:

```
CM Dipole for 28 MHz
```

```
CM
```

```
CE End Comments
```

GW: "Geometry Wire", beschreibt eine Antennegeometrie mit Hilfe von Draehten.

Wahrscheinlich die wichtigste Geometrie-Card.

Aufbau:

GW Index AnzahlSegmente x1 y1 z1 x2 y2 z2 Drahtdicke

“Index” ist eine laufende Nummer des Drahtstueckes, AnzahlSegmente ist die Anzahl der Einzelsegmente in die der Draht unterteilt wird. Dies ist eine Voraussetzung zur Berechnung mit der Methode der Momente (der Randelemente). Ueber einem Einzelsegment werden konstante Feldwerte angenommen.

x,y,z sind dabei die (1)Anfangs- und (2)Endkoordinaten des graden Drahtstueckes.

Alle Laengenangaben sind in meter.

Wenn die Antenne fertig spezifiziert ist, folgt die GE card (“Geometrie End”).

Beispiel fuer einen Dipol fuer das 10m Band entlang der y Achse, in z=10m Hoehe, mit 19 Segmenten und 1.2cm

Elementdurchmesser:

```
GW      1      19  0.00000E+00  2.54000E+00  1.00000E+01  0.00000E+00
-2.54000E+00  1.00000E+01  1.20000E-02
GE      0      0  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
```

EX Card: "Excitation": Antenneneinspeisung vom Sender. Sie besteht aus einer Sequenz von Zahlen mit folgender Bedeutung (als Beispiel):

EX 0 (fuer Spannungsquelle) 1 (fuer GW mit Index 1) 10 (fuer Einspeisung ins 10. Segment, hier in der Mitte des Dipols) 0 1.000 (Realteil der Speisespannung) 0.0000 (Imaginaerteil der Speisespannung) ...4 mehr Nullen.

Beispiel fuer unsern Dipol:

```
EX      0      1      10      0  1.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
```

FR: "Frequency Range": Dessen Form ist:

FR 0 (fuer Lin. Stepping) 21 (fuer Anz. Der Steps) 0 0 (ohne Bedeutung) 2.8000E+01 (Fuer Anfangsfrequenz 28.0 MHz) 1.000E-01 (fuer Step-Groesse)...4 Nullen ohne Bedeutung.

Beispiel:

```
FR      0      21      0      0  2.75000E+01  1.00000E-01  0.00000E+00
0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
```

RP: "Radiation Pattern". Die Sequenz ist:

RP 0 (normal mode) 37 (Anzahl der Winkelschritte von der Z-Achse aus) 73 (Anzahl der Winkelschritte in der x-y Ebene) 1000 (vertical, horizontal and total gain printed, no normalized gain, power gain, no averaging) 0.000 (Anfangswinkel von z) 0.000 (Anfangswinkel in der x-y Ebene) 5.000E00 (Winkelschritt von der z-Achse aus) 5.000E00 (Winkelschritt in der x-y Ebene) 0.000 0.000

Beispiel:

```
RP      0      37      73     1000  0.00000E+00  0.00000E+00  5.00000E+00
5.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
```

EN: End of run, Ende des Eingabefiles:

```
EN      0      0      0      0  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
```

Das so entstandene File bekommt die Endung .nec, z.B. 10m_dipoleBeisp.nec mit folgendem Inhalt:

```
CM Dipole for 28 MHz
CM
```

```

CE End Comments
GW      1      19  0.00000E+00  2.54000E+00  1.00000E+01  0.00000E+00
-2.54000E+00  1.00000E+01  1.20000E-02
GE      0      0  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
EX      0      1     10      0  1.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
FR      0     21      0      0  2.80000E+01  1.00000E-01  0.00000E+00
0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
RP      0     37     73    1000  0.00000E+00  0.00000E+00  5.00000E+00
5.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
EN      0      0      0      0  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00

```

Wir starten nun x nec2c, und laden dieses File mit "File-open".

Alternativ, und wohl am bequemsten weil man dort die Namen der Cards gleich eingublendet bekommt, aber mit weniger Kontrolle, kann man eine Antenneneingabe mit dem **eingebauten Editor** erledigen.

Dazu startet man x nec2c und klickt auf "File-New". Dann geht der Editor auf.

Die Card "GW" wird mit der linken Maustaste markiert, mit der rechten Maustaste geht ein Editorfenster fuer die Card auf, inklusive Benennung der Bedeutungen. Dort koennen die Wire Daten eingegeben werden.

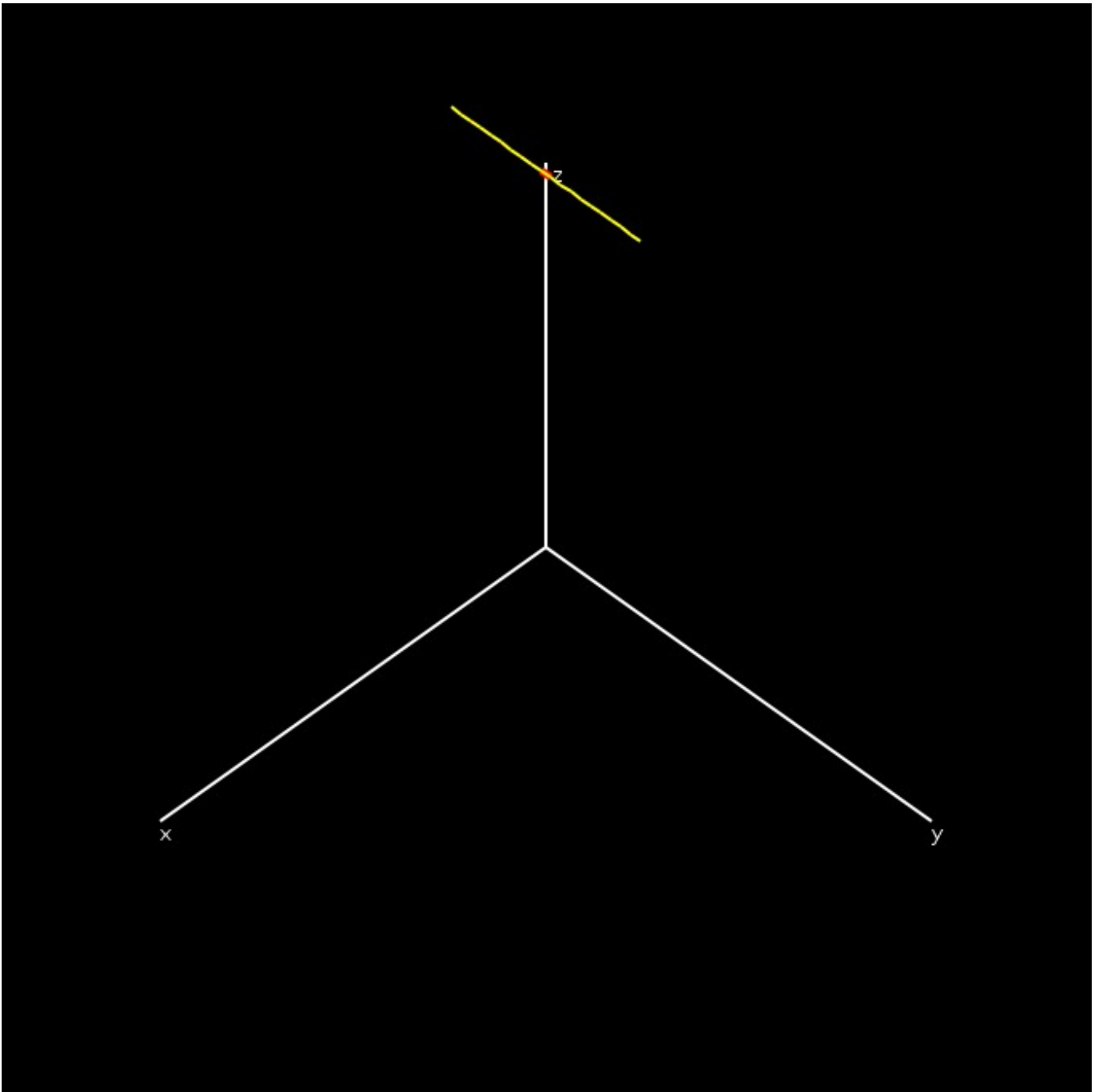
Nach Klick auf Button "Frequency" kann der Frequenzbereich eingegeben werden (FR Card).

Mit dem Button "Radiation" koennen die

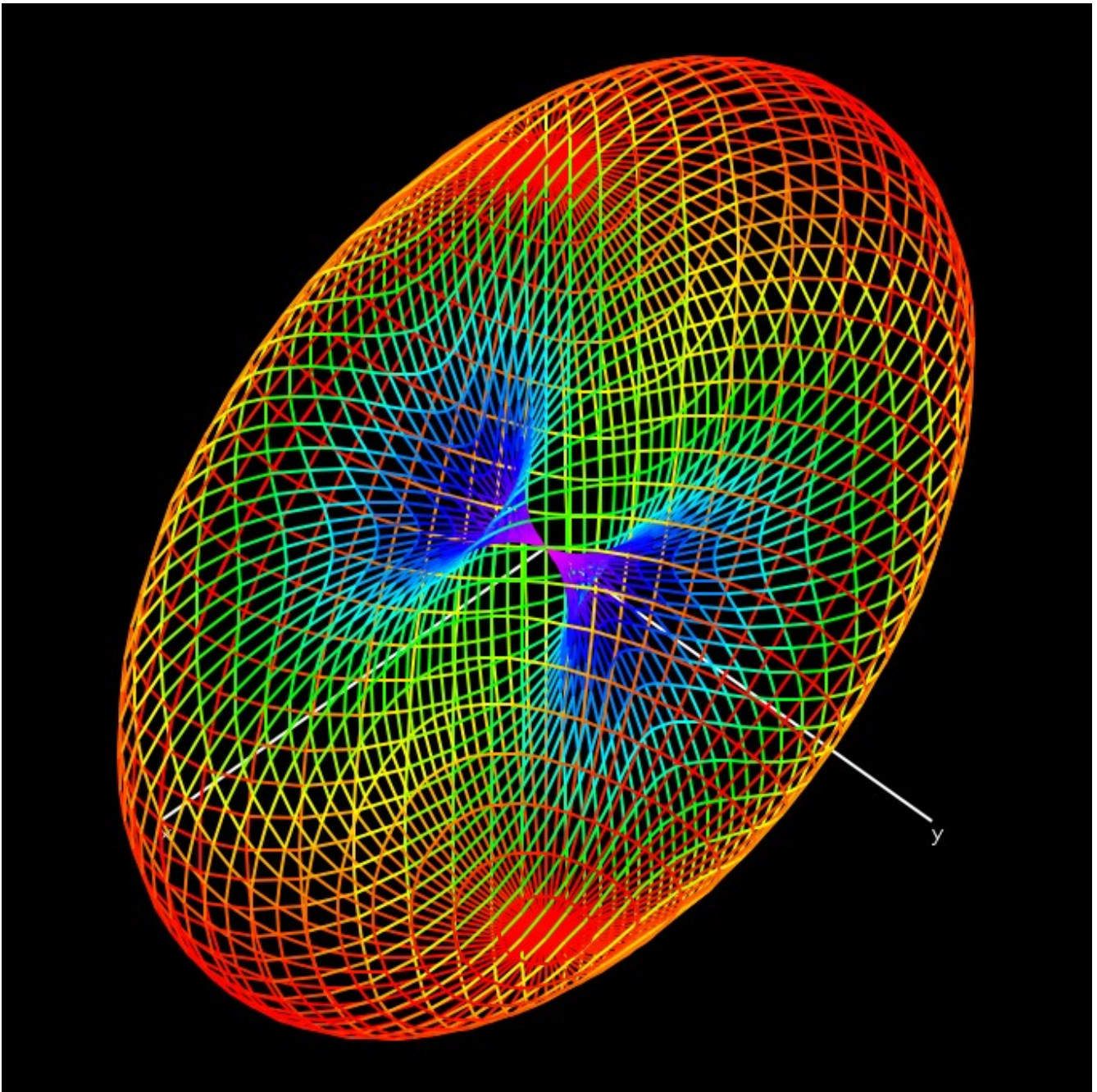
gewueschten Winkelbereiche der Berechnung eingegeben werden (RP Card) Dann mit dem Button "Save As" abspeichern (wird auch gleichzeitig ins Hauptfenster geladen).

Falls das **Editor** Fenster **groesser als der Bildschirm** erscheint, laesst es sich mit druecken von gleichzeitig "Alt" und Maus-schieben ueber die Grenzen des Bildschirms verschieben.

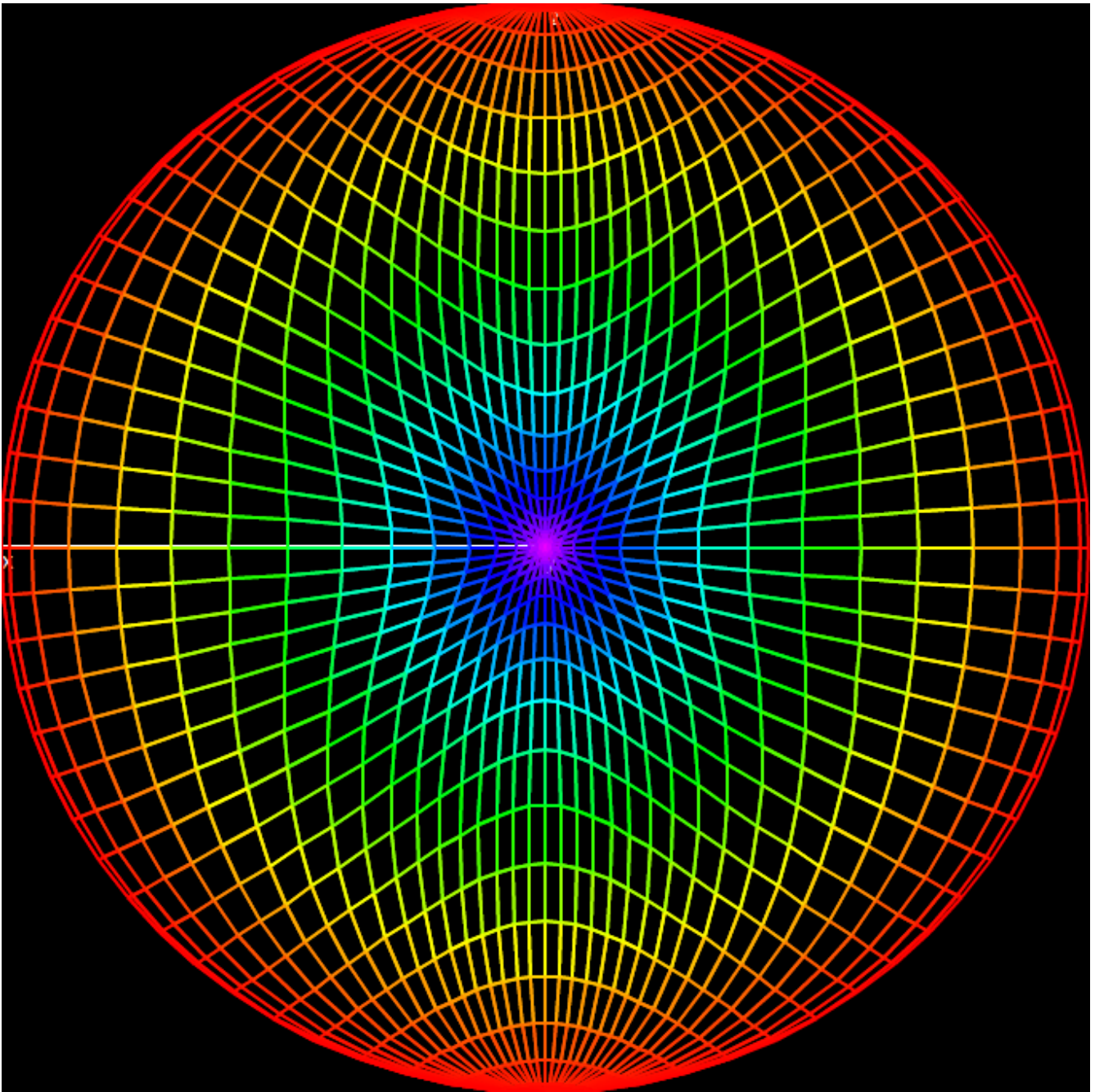
Im Anschluss sehen wir **grafisch die geladene Struktur** und koennen sie so optisch verifizieren:



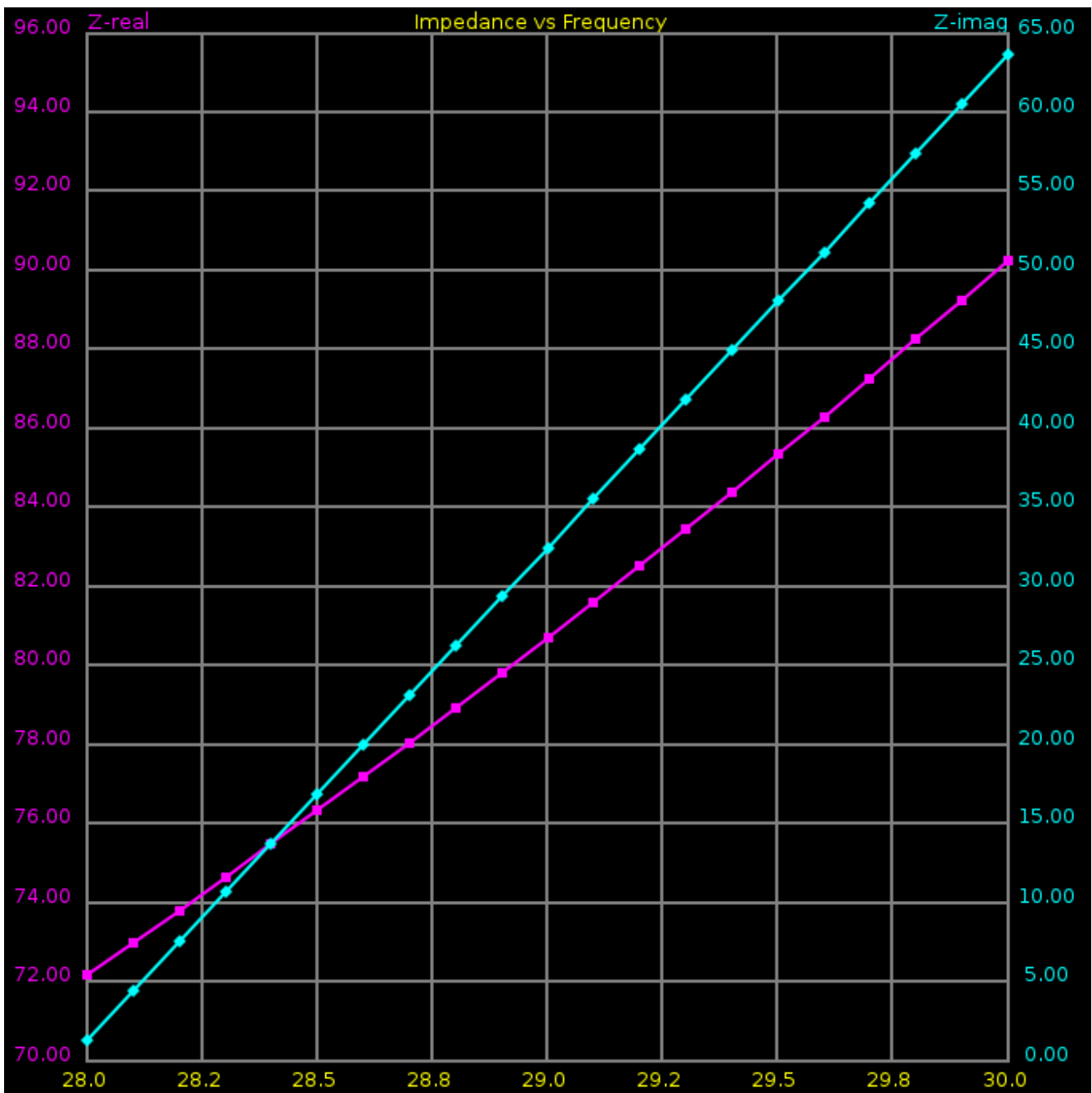
Um den dreidimensionalen **Gewinn** zu sehen, klicken wir auf "View" und machen ein Häkchen an "Radiation Pattern", klicken dann auf "Gain Pattern" und ggf auf "Frequency Loop":



Der Blick auf die y-Achse, wo die Antenne nur als Punkt erscheint, ergibt folgendes Bild mit rundum-Abstrahlung:

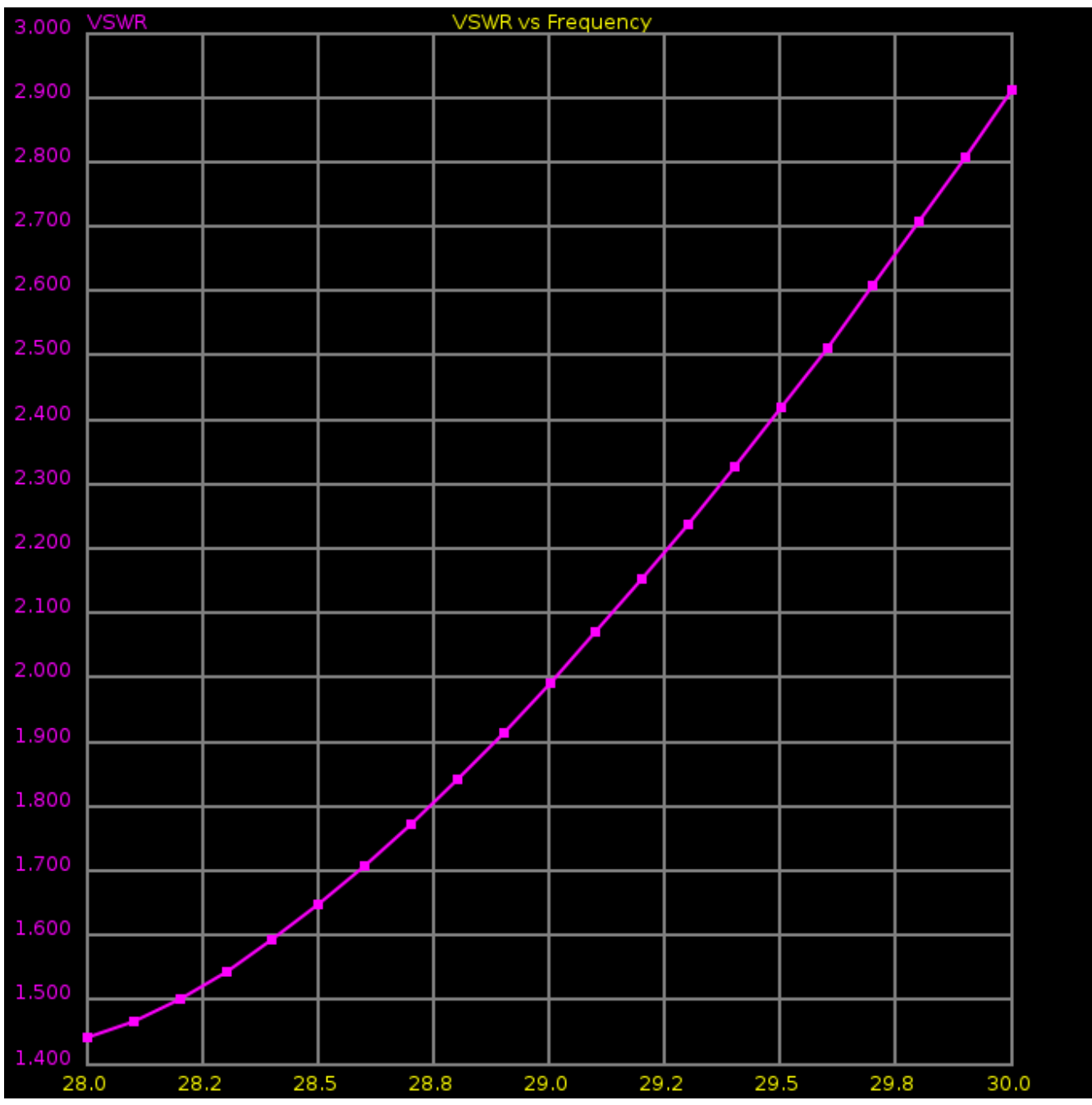


Um die Antennenimpedanz und z.B. das SWR zu berechnen, klicken wir im Hauptfenster auf "View"- "Frequency Plots"- und dann z.B. auf "Zr/Zi", und ggf. "Freq. Loop".



Hier sieht man: Die Antenne ist in Resonanz wo der Imaginarteil ihrer Impedanz zu Null wird, also bei ca. 28 MHz, und ihr Wellenwiderstand dort ist ca. 70 Ohm, wie bei einem Dipol zu erwarten. Wir koennen auch das Stehwellenverhaeltnis

(SWR) fuer eine gegebene Kabelimpedanz berechnen. Dies funktioniert aus dem Hauptfenster aus mit "View"- "Frequency Plots"- "VSWR". In dem Fenster erscheint rechts "Z0", was default-maessig auf 50 Ohm steht, was man meist auch so braucht. In unserem Beispiel ergibt sich folgendes Bild:



Ground Simulation

Wir koennen in der Simulation eine leitende Erde auf der x-y Ebene ($y=0$) einbeziehen, durch die GN card.

Beispiel:

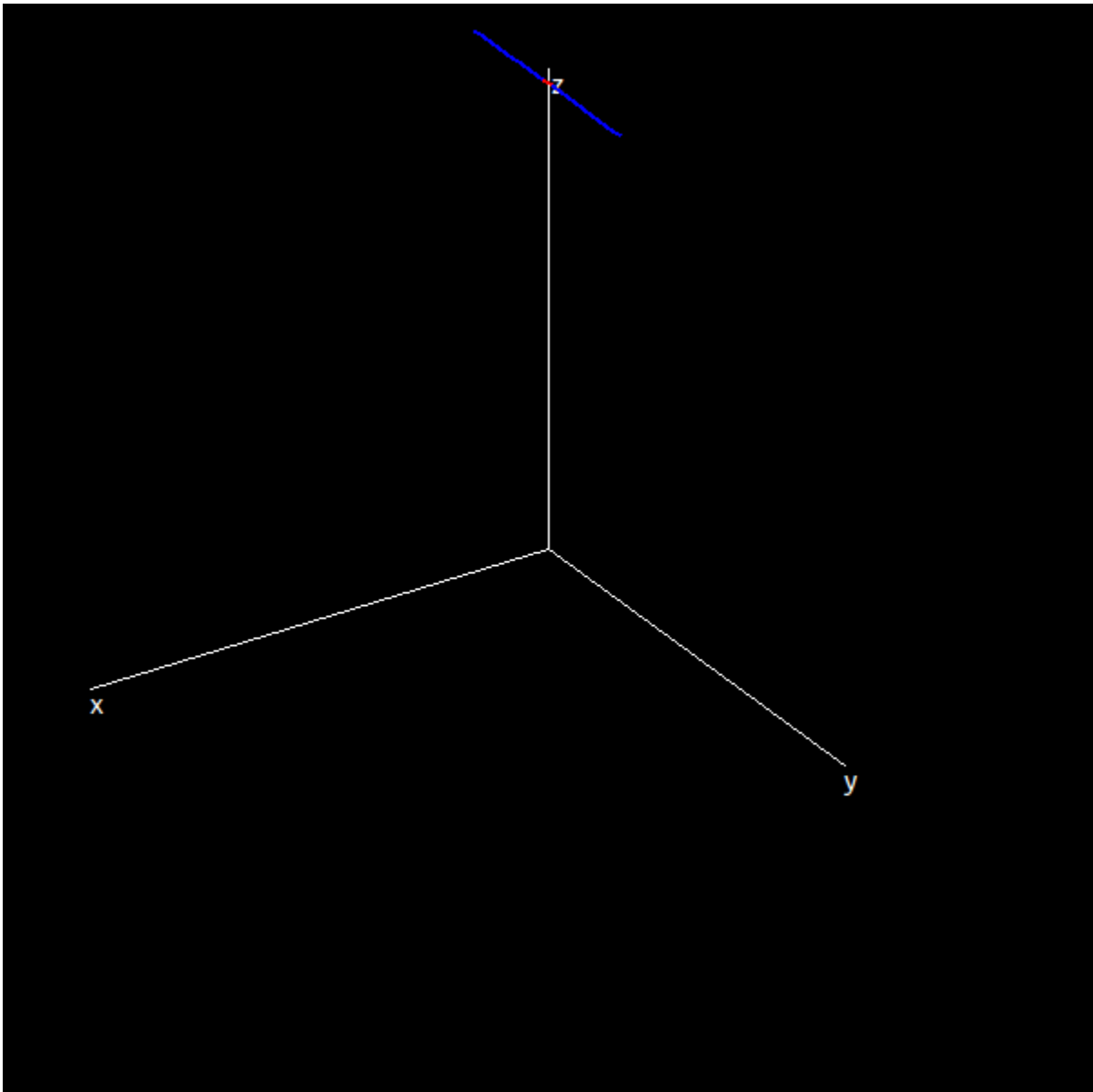
```
GN 1 (ideal leitende Erde in der z=0 Ebene)
0 0 0 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00
```

Diese Option gibt es auch im eingebauten Editor als Button mit dazu gehoerigen Optionen.

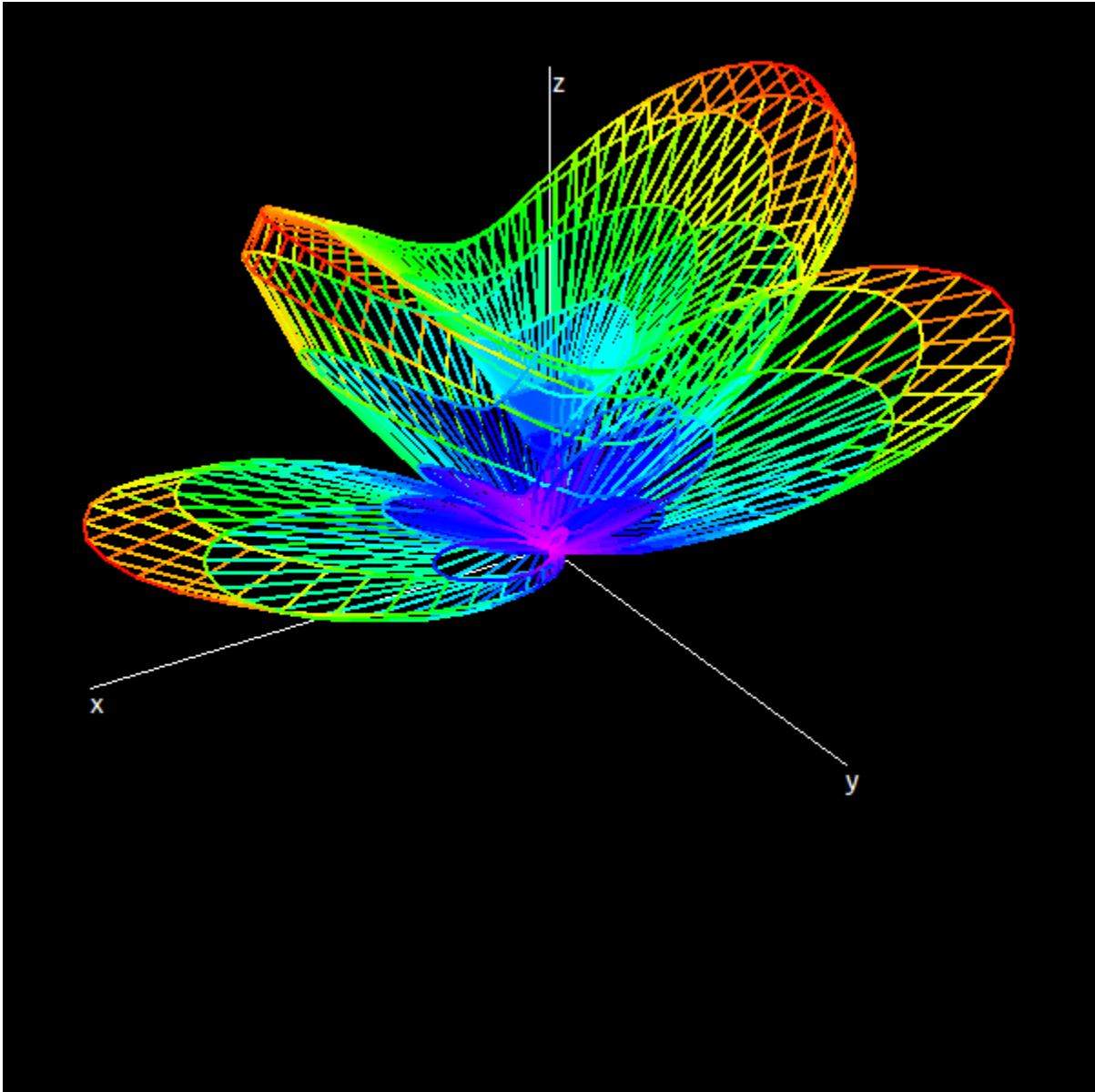
Zusaetzlich sollte man die Winkel der Simulation auf die Ebene oberhalb der Erde beschraenken, indem wir die Winkelpunkte von der z-Achse aus um gut die Haelfte reduzieren, von 37 auf 18:

```
RP 0 18 73 1000 0.00000E+00 0.00000E+00 5.00000E+00
5.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
```

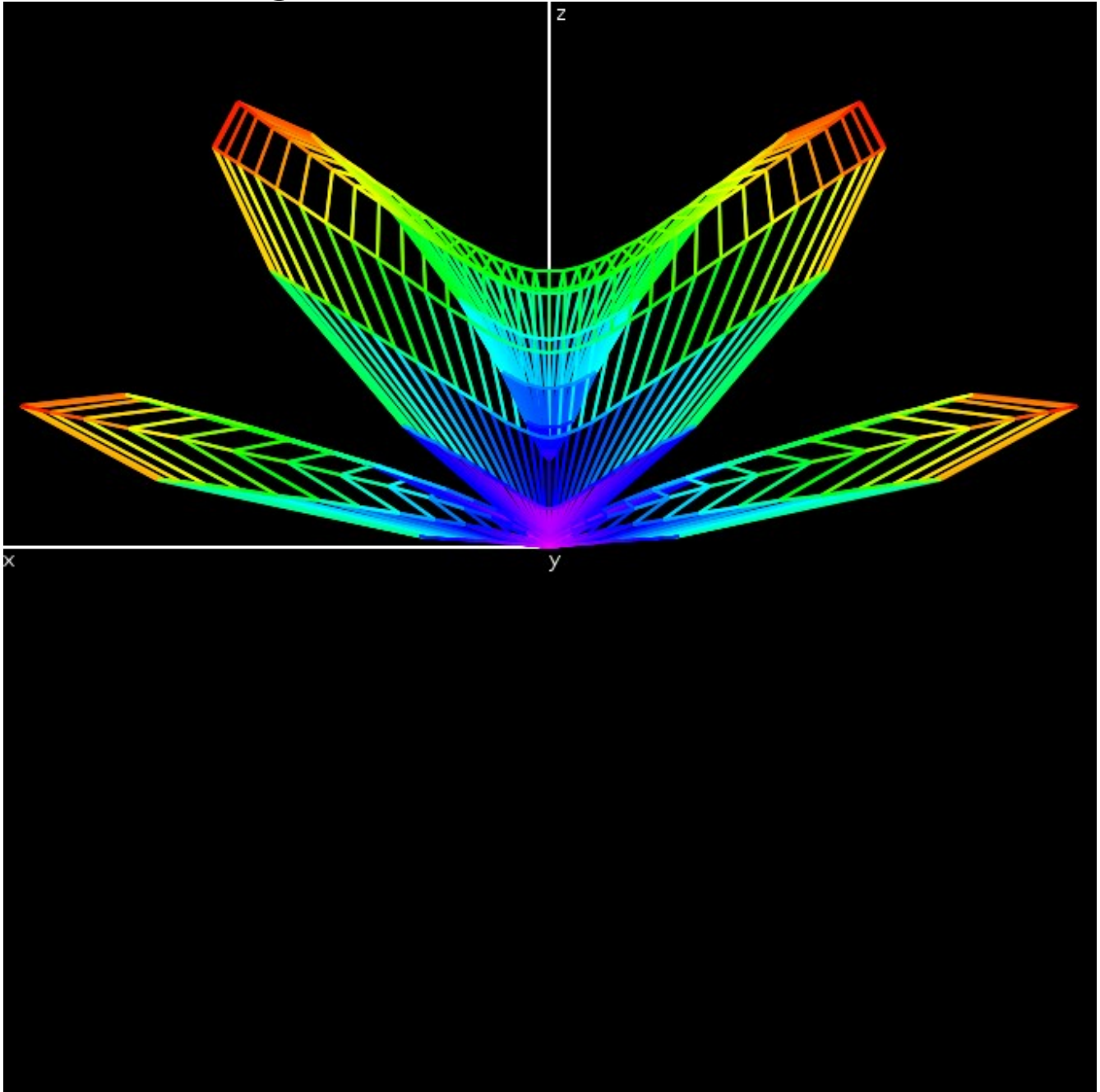
Die Anzeige der resultierenden Struktur aendert sich nicht, der Ground wird nicht angezeigt:



Das resultierende Radiation Pattern aendert sich allerdings erheblich:



Bei Blick auf die y -Achse, wo die Antenne nur als Punkt erscheint, ergibt sich folgendes Bild, ein deutlicher Unterschied zur rundum-Abstrahlung:



Nicht Perfekter Grund

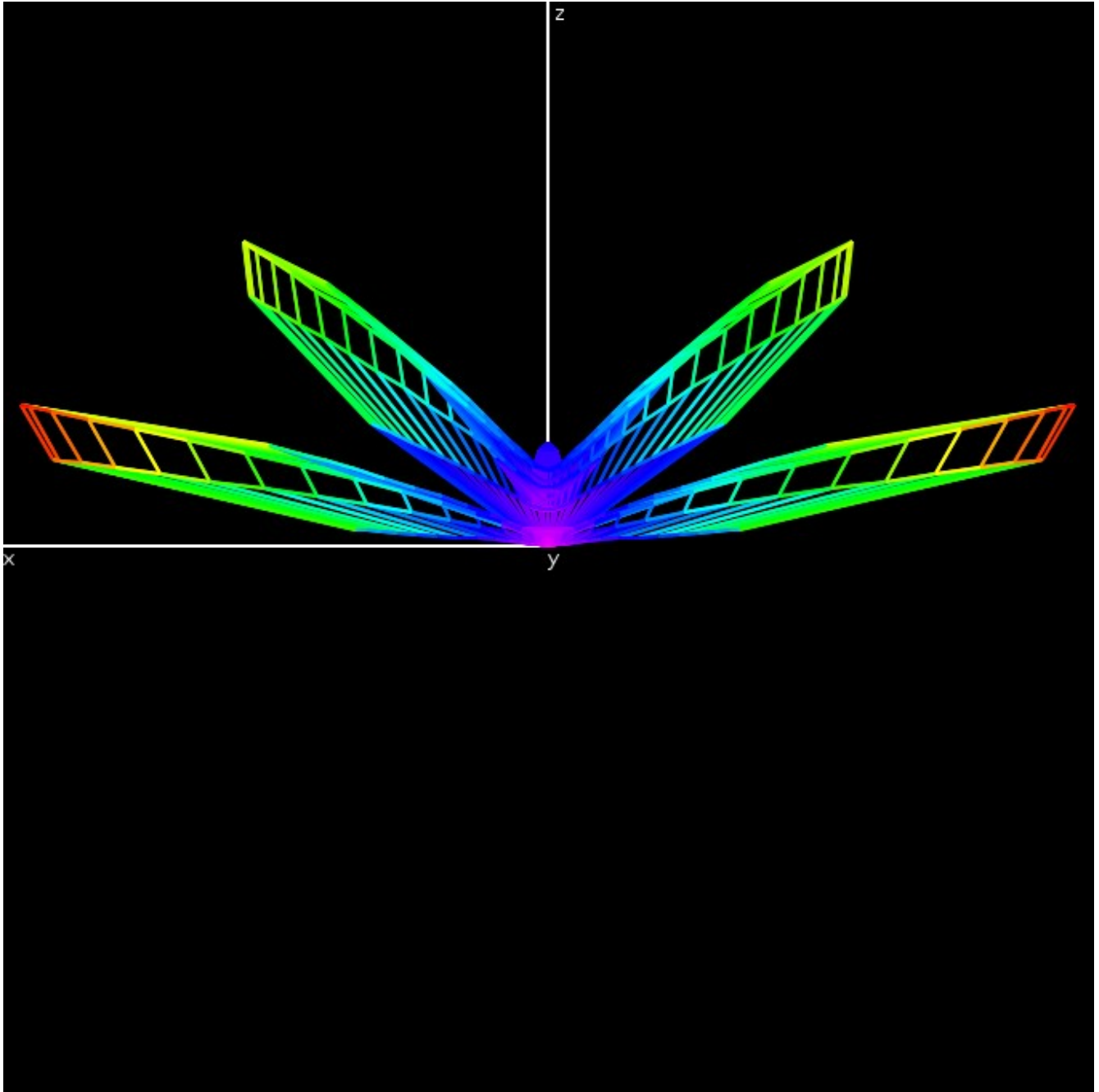
Wenn der Grund nicht als perfekt leitend, sondern realistischer z.B. mit einer Leitfaehigkeit von 5 mS/m (Milli-Siemens pro Meter, Siemens=1/Ohm) annehmen, muessen wir die GN card entsprechen aendern:

```
GN 0 (finite Ground) 0 0 0
0.00000E+00 5.00000E-03 (Leitfaehigkeit in
S/m) 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00 0.00000E+00
```

also:

```
GN 0 0 0 0 0.00000E+00 5.00000E-03 0.00000E+00
0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
```

Wieder auf die y-Achse geschaut ergibt dann folgendes Bild. Beachte dass die Keule nach oben weniger ausgepraegt ist als bei perfektem Grund:



Zusammenfassung:

- xnec2c basiert auf einer Eingabe mit Text File (ASCII)
- Am einfachsten generiert durch einen Editor
- Bequemer durch den eingebauten Editor der Benennung der Bedeutungen dabei hat.
- Berechnet graphisch Gewinn diagramme und Verlaufe von Impedanzen