



Zeitschrift für
Nachrichten- und
Hochfrequenztechnik
HF-, VHF-, UHF-, SHF-Funk

B 21 956

UKWberichte

44. Jahrgang

1. Quartal

Heft 1/2004

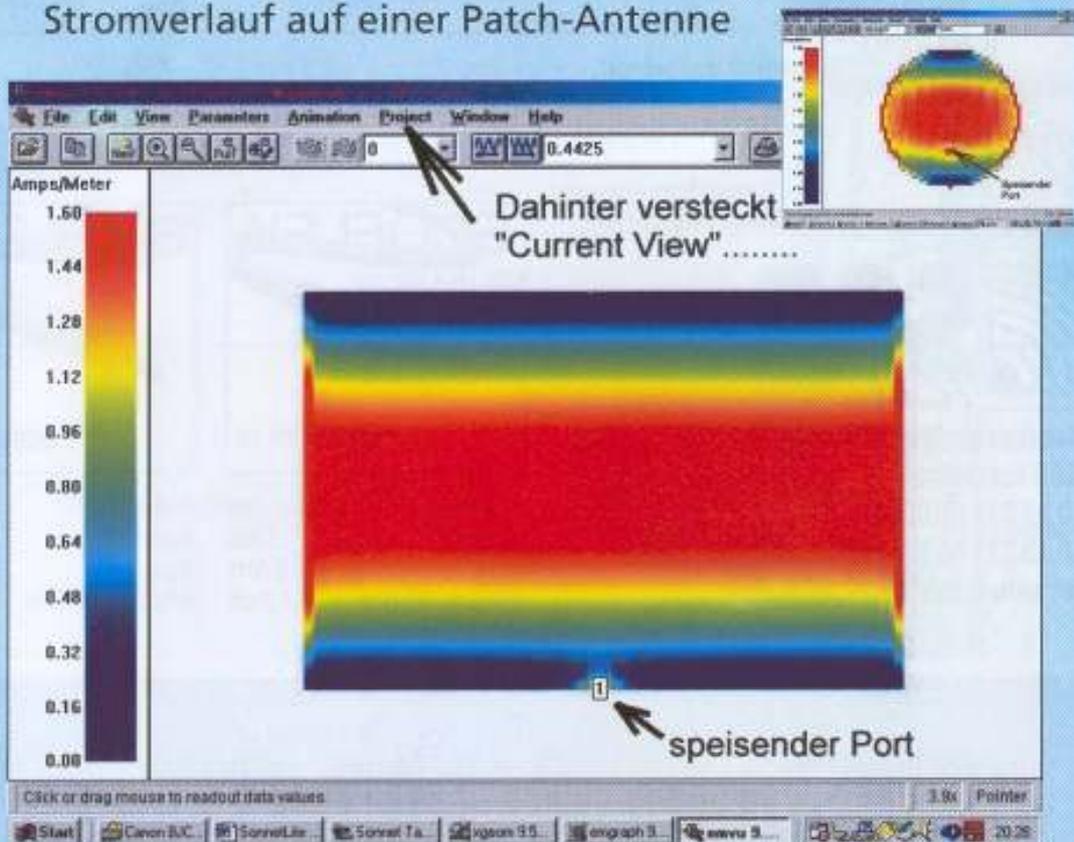
€ 6,00

Gunthard Kraus,
DG 8 GB

SonnetLite 9.51

- EM-Simulator -

Stromverlauf auf einer Patch-Antenne





Gunthard Kraus, DG 8 GB

Das interessante Programm

Heute: **SonnetLite 9.51**

Die kostenlose "Lite"-Version von SONNET wurde an dieser Stelle bereits mehrfach eingesetzt. Gegenüber den bisherigen Versionen ist seine Verwendung nun noch attraktiver geworden, da endlich einige Features freigegeben wurden. Deshalb folgt hier eine ausführliche Vorstellung in Form von realisierten Aufgabenstellungen aus der Praxis.

1. Ein kurzer Steckbrief

Charakterisierung:

EM-Simulator zur Analyse von planaren Anordnungen und Antennen, der eine modifizierte „Momentenmethode“ verwendet. Er analysiert die zu untersuchende Struktur in einer rechteckigen Metallbox mit Deckel. Die Feldverteilung im Inneren ist bekannt und kann gut berechnet werden.

Nach dem Download und der Installation ist zuerst nur ein Arbeitsspeicher mit einem Me-

gabyte freigegeben. Bei einer Registrierung per Email erhält man eine kostenlose Lizenz zur Nutzung von 16 Megabyte für den verwendeten PC, aber man darf die Prozedur für weitere Rechner im Haus (z.B. für das Notebook) jederzeit wiederholen.

Das ist Spitze:

Hervorragende Benutzerführung bei der Vorbereitung zur Simulation samt exzellenter Dokumentation in Form von Manuals, die als PDF-Files mitgeliefert werden.

Das Programm berechnet S-, Y- und Z-Parameter und gibt auf Wunsch die Werte der verwendbaren Ersatzbauteile für eine SPICE-Simulation aus.

Die Simulationsgenauigkeit ist zufriedenstellend.

Ermöglicht auch die Darstellung der Stromverteilung (mittels eines „current density viewers“ Betrachtung der Strom-Dichten) als kleine Animation.

Endlich mal eine massive Verminderung der nötigen Rechenzeit bei EM-Simulatoren



durch den raffinierten „ABS“ (= adaptive band sweep) auf wenige Minuten.

Umfangreiche Sammlung an Application Notes, FAQ-Fragen samt Antworten, Technischen Grundlagen und Ratschlägen etc. in einer kostenlos nutzbaren „Knowledge Base“ („Wissens-Datenbank“).

Sehr kompetenter Support einschließlich engagierter Unterstützung durch die vielen SonnetLite-Anwender auf dem Globus.

Das tut weh:

Die Begrenzung auf 16 Megabyte ist meist schneller erreicht, als man denkt. Und dann muss das Projekt nochmals solange gründlich überdacht und vereinfacht werden, bis es wieder in den „Käfig“ passt.

Eine leidige Sache sind die Antennendiagramme, dazu später...

Festgestellte Bugs oder grobe Rechenfehler:

Auch unter WINDOWS-XP oder WINDOWS-2000 fiel nichts auf.

Verbesserungswünsche:

Es bleibt nur noch ein flehentlicher Wunsch der weltweiten und umfangreichen Sonnet-Lite-Gemeinde übrig:

GEBT ENDLICH DEN FARFIELD VIEWER FÜR SIMULIERTE ANTENNEN FREI!

Download und Dateigröße:

Ca. 23 Megabyte als gepackte Datei von der Homepage von SONNET, siehe Artikelende.

Application Notes, Technische Informationen, FAQs etc. aus der Knowledge Base müssen dagegen getrennt heruntergeladen und dann übersichtlich archiviert werden. Empfiehlt sich aber sehr!

2.

Was fällt auf?

SONNET ist ja bereits seit einigen Jahren bekannt, hat sich allerdings im Laufe seiner „Evolution“ verändert.



Bild 1:
Eine solche automatisch geführte Kontrollliste ist eine echte Hilfe für den Einsteiger!

Was nach dem Start und dem Wunsch „New Geometry“ (Neue Geometrie) gleich ins Auge springt, ist der „Quick Start Guide“ (Schnelle Starthilfe) samt seiner Checkliste nach dem Anklicken von „Draw manually in Sonnet“ (Freihand-Eingabe in SONNET) (**Bild 1**).

Es handelt sich hierbei NICHT um eine Menüführung, sondern um eine echte Kontrollliste: hat man einen Punkt (durch Aufruf des entsprechenden Menüs) erledigt, wird er automatisch abgehakt. Die Liste reicht von „Create New Project“ (Neues Projekt erstellen) bis „View Response“ (Ergebnis sichten) und ist bis zum Erreichen einer blinden Routine bei der Programmbedienung äußerst hilfreich. Es ist deshalb keine Schande, diese „Schnellstarthilfe“ auszudrucken und neben den PC zu legen, denn diese Liste verdeckt sonst immer wieder Teile der gezeichneten



Geometrie und muss dann beiseite geschoben werden. Natürlich kann man sie ganz wegklicken, aber wenn man sie zwischen-durch mal wirklich braucht....

Eine sehr praktische Sache ist auch die Option „Adaptive Band Sweep (ABS)“. Sie ähnelt dem „Wobbeln“ bei der Ermittlung von irgendwelchen Frequenzgängen und spart unglaublich Rechenzeit. Man braucht nur noch die Start- und Stoppfrequenz für den gewünschten Frequenzbereich einzugeben. Das Programm ermittelt dann automatisch die minimale Anzahl an Simulationspunkten zur korrekten Darstellung und so beträgt die Simulationszeit nun lediglich Minuten statt Stunden.

Die wichtigste Neuerung ist aber doch die Freigabe von Ports INNERHALB einer Struktur (Früher: nur an einer Wand der Box, deshalb musste man bis zur Struktur immer noch eine Leitung legen). Dadurch ist es nun beispielsweise möglich, Patch-Antennen direkt an einer Kante zu speisen und damit den dort gültigen Eingangswiderstand in ein S1P-File plotten zu lassen. Oder man arbeitet mit einem „inserted feed“ irgendwo innerhalb des Patches, der von unten (= von der durchgehenden Massefläche her) versorgt wird. Dieser Punkt wird später anhand von Beispielen genauer betrachtet.

Auch die Simulationsgenauigkeit ist offensichtlich nochmals verbessert worden. Allerdings muss der Autor gestehen, dass er erst jetzt das Kapitel „Erzielbare Genauigkeiten“ in den mitgelieferten dickleibigen Manuals entdeckt hat. Die dort angegebenen Formeln über den Zusammenhang zwischen gewählter Zellengröße und daraus folgenden Fehlern bei der Simulation von Mikrostreifenleitungs-Strukturen wurden erst jetzt praktisch angewendet.

Auf die im Laufe der Zeit vorgenommen kleinen Änderungen

oder Verbesserungen stößt man natürlich nur bei intensivem Umgang mit dem Programm. Sie können hier nicht alle aufgelistet werden, man findet sie aber in einer entsprechenden Liste auf der SONNET-Homepage.

3. Erstes Praxis-Beispiel: Untersuchung einer Patch-Antenne für 435 MHz

3.1. Vorgeschichte

Die besten Geschichten liefert das Leben; so stammt auch dieses Beispiel aus dem Alltag.

Damit wurde die aktuelle SONNET-Simulationsgenauigkeit und Bedienerfreundlichkeit auf andere Weise auf die Probe gestellt.

Ein Funkfreund suchte für das 70-cm-Band eine Patch-Antenne, die ja schön flach ist und gut in der Wohnung an der Wand hinter einem Vorhang aufgehängt werden kann - ohne zu sehr aufzufallen. Aus Preisgründen und weil der Wirkungsgrad und die kleine Bandbreite der Antenne nicht so wichtig sind,

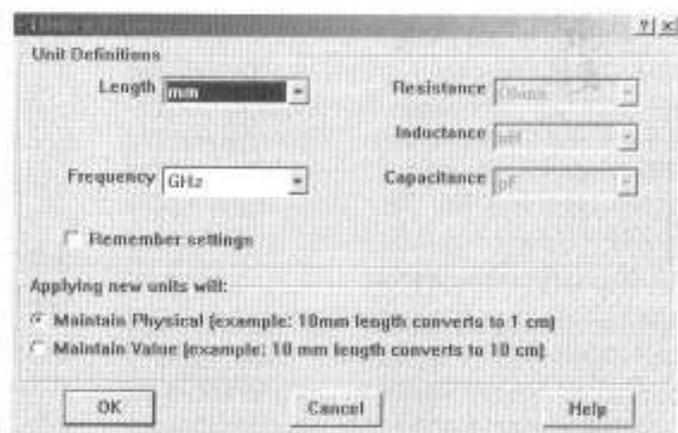


Bild 2: Genau prüfen: sind „mm“ und „GHz“ eingestellt und ist das Häkchen bei „Maintain Physical“ gesetzt?

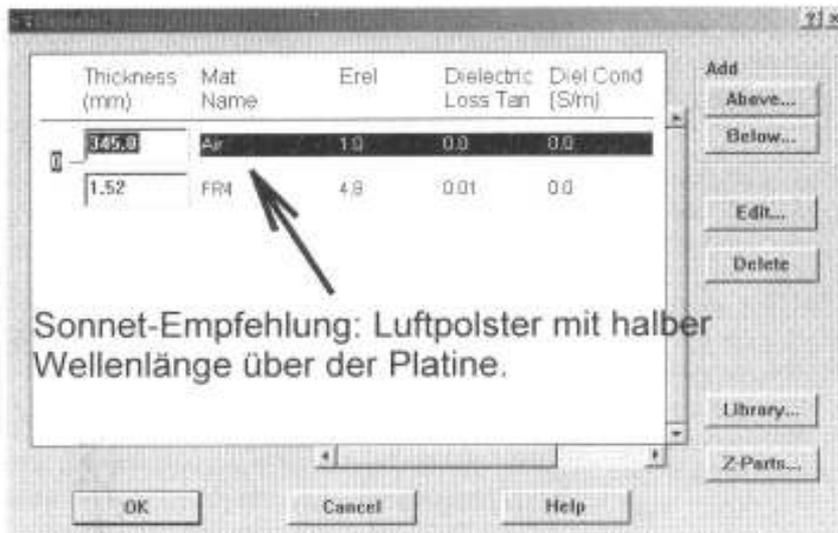


Bild 3:
Korrekte Einstellung der Dielectric Layers: Platine mit Luftpolster

sollte schlichtes FR4-Material mit 1,52 mm Dicke verwendet werden.

Also wurde mit dem Programm „PATCH16“ aus dem Internet ein Prototyp entworfen, wobei als Materialdaten eine Dielektrizitätskonstante $\epsilon_r = 4,8$ und ein Verlustfaktor von 0,01 (entsprechender einer Güte von $Q = 100$) zugrunde gelegt wurden. Als Trägermaterial diente eine beidseitig kupferbeschichtete FR4-Platte der Größe DIN A4 (210 mm x 297 mm), die Patch-Abmessungen betragen 154,18 mm x 228,6 mm bei einer vorgesehenen Bandmittenfrequenz von 435 MHz.

Hinweis: die Patchlänge von 154,18 mm entspricht etwa der halben Wellenlänge und bestimmt die Eigenresonanz der Antenne. Die 228,6 mm stellen die Patchbreite dar und ergaben sich aus der Forderung nach einem kleinen Strahlungswiderstand sowie möglichst großer Bandbreite.

Auf der Unterseite, also auf der durchgehenden Massefläche, wurde eine SMA-Flanschbuchse angelötet, deren Innenleiter exakt mit der strahlenden Patchkante auf der Oberseite verbunden wurde.

Die Messung mit dem Networkanalysator HP8410 lieferte folgendes Ergebnis:

Resonanzfrequenz: $f_0 = 465$ MHz

Der dort gültige minimale Eingangsreflektionsfaktor liegt bei: $r = -0,1$

Die Forderung für den SonnetLite-Einsatz wurden nun folgendermaßen formuliert:

a. Die vom Programm „PATCH16“ gelieferten Antennenabmessungen sind durch eine SONNET-Simulation nachzuprüfen.

b. Die Ursachen der beobachteten großen Abweichungen zwischen Theorie und Praxis sind zu ergründen. Anschließend soll die Antenne mit SONNET neu dimensioniert, dann aufgebaut und mit dem Networkanalysator nachgemessen werden.

c. Aus Interesse soll zum Vergleich eine Kontrollsimulation mit herkömmlichen Mitteln (sprich: mit PUFF) erfolgen.

3.2. Kontrolle der vorgegebenen Antenne mit SonnetLite

Die Vorgehensweise orientiert sich am „Quick Start Guide“.

1. Schritt:

Man öffnet in der SONNET Task Bar eine „New Geometry“ (Neue Geometrie) und speichert sofort das Projekt unter einem ge-



Bild 4:
Etwas Aufwand, aber die Umstellung auf Kupfer ist erforderlich

eigneten Namen (hier: p_01) in einem neu anzulegenden Ordner.

2. Schritt:

Hinter dem Menü „Circuit“ (Schaltung) verstecken sich alle nun folgenden erforderlichen Einstellungen. Unter „Units“ (Einheiten) kontrolliert man, ob schon „mm“ und „GHz“ eingetragen sind (**Bild 2**). Außerdem ist noch ein Häkchen zu setzen, damit die gewählte Länge auch bei einem Einheitenwechsel erhalten bleibt.

3. Schritt:

Weiter geht es an die „Dielectric Layers“ (Dielektrische Lagen). Siehe hierzu **Bild 3**, denn es liefert die nötigen Detailinformationen. Außer den Daten für das FR4-Trägermaterial ist (laut Hersteller-Empfehlung) ein Luftpolster oberhalb der Platine mit einer Dicke von etwa der halben Wellenlänge einzutragen - bei 435 MHz sind das 345 mm. Luft hat natürlich eine Dielektrizitätskonstante von 1 und keine Verluste. Zum Eintragen der Materialeigenschaften markiert man einfach die gewünschte Zeile mit einem Mausklick und erledigt den Rest mit „Edit“ (Bearbeiten).

4. Schritt:

Im Gegensatz zum „Quick Start Guide“ zieht man den Punkt „Metal Types“ (Metall-Sorten)

vor, denn das spart etwas Arbeit und Zeit. Man sieht sofort, dass zunächst nur „lossless“ (verlustfrei) vorgesehen ist und zu diesem Idealfall fügt man gleich das Kupfer in der Auswahlliste hinzu. Allerdings muss man sich da sehr genau an die folgende „Klick-Serie“ halten:

Zuerst „ADD“, dann „Select Metal from library“ (Metall-Sorte aus Bibliothek wählen), dann „Global Library“ (Globale Bibliothek) anklicken. Es erscheint eine Auswahlliste, in der „copper“ markiert wird. Mit „Edit“ erhält man die Liste mit seinen Eigenschaften, in der man die „Thickness“ von 0,035 mm kontrolliert bzw. einstellt. Das wird mit „OK“ bestätigt. So kommt man zurück zur „Global Library“ und ein Klick auf den dort zu findenden Button „OK“ und anschließend nochmals „OK“ sollte **Bild 4** auf den Bildschirm bringen.

Bitte aber nicht vergessen, jetzt bei „Metal For New Polygons“ auch wirklich auf Kupfer umzustellen...

5. Schritt:

Jetzt wird es richtig interessant, denn nun kommt die für die Simulationsgenauigkeit entscheidende Wahl der Zellgröße unter „Box“. Ein Wert von ca. 1% der Wellenlänge

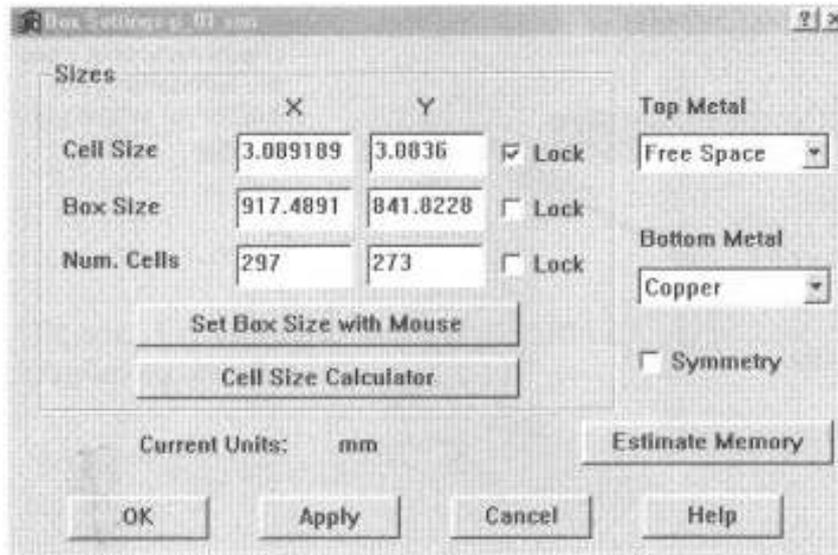


Bild 5:
Bitte alle Box-
Einstellungen
exakt übernehmen

für Länge oder Breite einer Zelle ist ein guter Kompromiss in Bezug auf Rechenzeit, Simulationsgenauigkeit und Speicherplatzbedarf. Wegen der Beschränkung bei der SonnetLite-Version geht das nicht immer, aber die „Genauigkeits-Schmerzgrenze“ liegt bei ca. 5% der Wellenlänge. Das sollte in den meisten Fällen reichen. Zellenlänge Δ_y und Zellenbreite Δ_x dürfen sich natürlich unterscheiden, sollten jedoch nicht extrem (z.B. mehr als Faktor 10) voneinander abweichen.

Hier das weitere Vorgehen:

Die Patchlänge von 154,18 mm entspricht bekanntlich etwa 50% der Wellenlänge. Also braucht man diesen Wert nur durch 50 zu teilen und bekommt $\Delta_y = 3,0836$ mm.

Teilt man die Patchbreite von 228,6 mm durch diesen Wert, so erhält man dort 74,134129 Zellen; man rundet auf 74 Zellen ab. Damit ergeben sich $\Delta_x = 228,6 \text{ mm} / 74 = 3,0891892$ mm.

SONNET empfiehlt bei Antennensimulationen, von allen Kanten aus mindestens eine Wellenlänge Abstand zu den Metallwänden der Simulationsbox einzuhalten. In X-Richtung braucht man deshalb nun etwa 2×345

mm + 228,6 mm = 918,6 mm. Das teilt man durch $\Delta_x = 3,0891892$ und erhält etwa 297 Zellen.

Ebenso geht man in der Y-Richtung vor. Die Summe beträgt dort $2 \times 345 \text{ mm} + 154,18 \text{ mm} = 844,18$ mm. Durch $\Delta_y = 3,0836$ mm geteilt, ergeben sich etwa 273 Zellen.

Damit geht es nun in das BOX-Menü. **Bild 5** zeigt, wie das Endergebnis auszusehen hat. Bitte nicht vergessen, nach dem Eintrag von Δ_x oder Δ_y sofort das Häkchen bei „Lock“ (sperrern) in derselben Zeile anzubringen, sonst bleibt dieses Maß nicht erhalten, wenn man an der Zellenanzahl Veränderungen vornimmt. Ganz wichtig sind natürlich die Einträge „Free Space“ (Freiraum) beim Deckel der Box (... die Antenne soll schließlich ihre Energie an den freien Raum abgeben...) und „Copper“ (Kupfer) beim Boden der Simulationskiste.

6. Schritt

Jetzt wird die Antenne gezeichnet (**Bild 6**). Bitte zuerst eine Kontrolle durchführen, ob auch wirklich Ebene „0“ aktiviert und die „Toolbar“ (Werkzeugleiste) auf dem Bildschirm vorhanden ist. Zum leichteren Zeich-

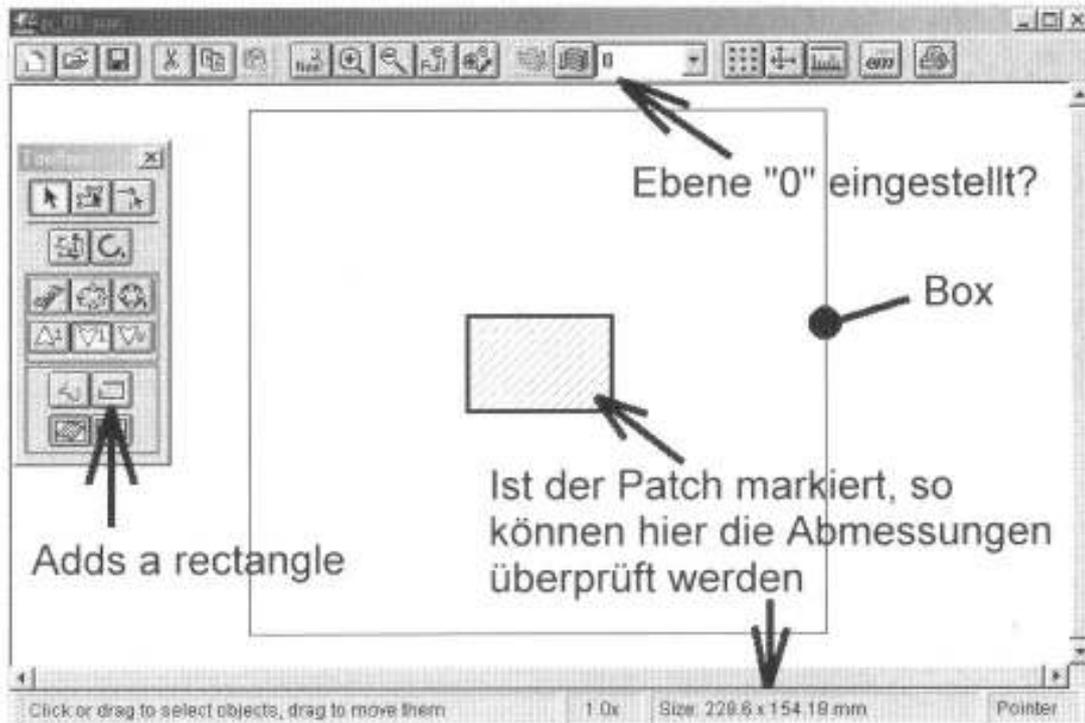


Bild 6: Hier findet man alle Informationen zum Zeichnen des Patches

nen kann man sich den mittleren Bereich der Simulationsbox etwas herauszoomen und dann wird gleich auf „Add a rectangle“ (Rechteck einfügen) geklickt. In bekannter Weise (Drag and Drop) lässt sich nun das Patch bei gedrückter Maustaste zeichnen, seine Abmessungen können sehr schön an der gekennzeichneten Stelle kontrolliert werden. Wenn hinterher die Patchfläche grün schraffiert erscheint, hat man Kupfer als Metall im Einsatz. Nun wird die Simulationsbox wieder auf die alte Größe verkleinert und ggf. das Patch mit der Maus solange auf dem Bildschirm verschoben, bis es in der Mitte der Box sitzt.

7. Schritt:

Über „View“ (oder über den markierten Button) holt man das „Measuring Tool“ (Maß-Hilfsmittel) auf den Schirm. Dann wird das Patch so groß wie möglich herausgezoomt, auf das Maussymbol im „Measuring Tool“ geklickt und dann mit der Maus ganz exakt

auf die linke untere Patchecke gefahren. Nach einem linken Mausklick ist plötzlich diese Ecke der Bezugspunkt. Genau das braucht man für eine runde Durchkontaktierung („Via“) Richtung Masse, die in der Mitte der unteren Patchkante sitzen soll. Dies soll nämlich später der Erregerport werden; zum Anschluss des Innenleiters der SMA-Buchse sieht man einen Via-Durchmesser von 1,27 mm vor. Nun aktiviert man „Circular Via“ (Runde Durchkontaktierung) in der Toolbox, trägt im auftauchenden Menü diesen Durchmesser ein und setzt es genau in der Mitte der unteren Patchkante bei 114,3 mm ab (**Bild 7**).

8. Schritt

An der Position der Durchkontaktierung bringt man nun einen Port an. Auch dazu vergrößert man zuerst den Bildausschnitt so weit wie möglich, um sich das Positionieren zu erleichtern. Anschließend wird dieser neue Port durch einen Mausklick aktiviert und

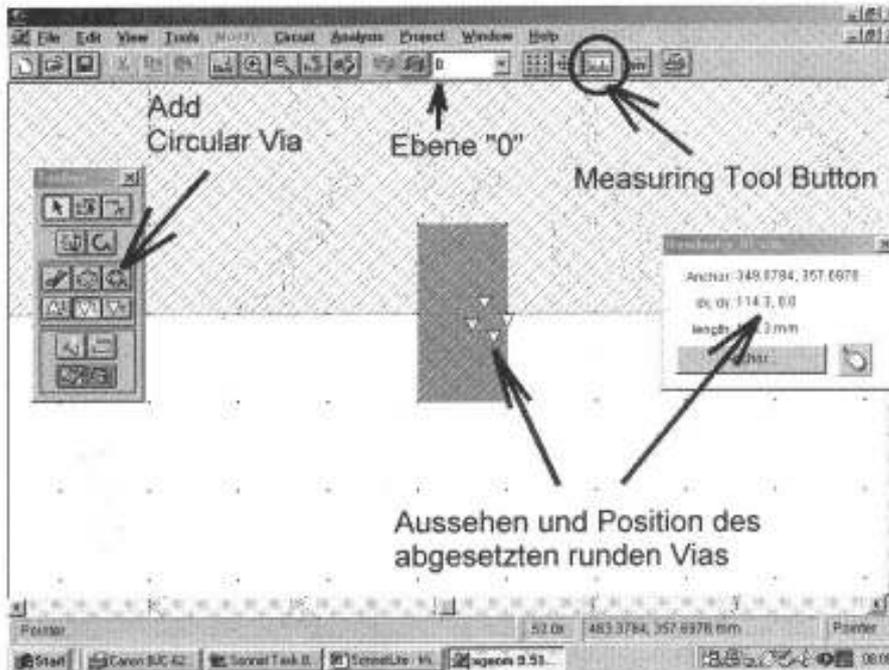


Bild 7:
So wird die Durchkontaktierung (das Via) mit einem Durchmesser von 1,25 mm an der Patchkante angebracht (Ebene „0“)....

genau im Zentrum der Durchkontaktierung (an Position 114,3 / 0 mm) abgesetzt.

Scheinbar ist da nichts passiert, denn im Bild ist zuerst nichts zu sehen. Erst wenn von Ebene „0“ auf „Ground“ gewechselt wird, er-

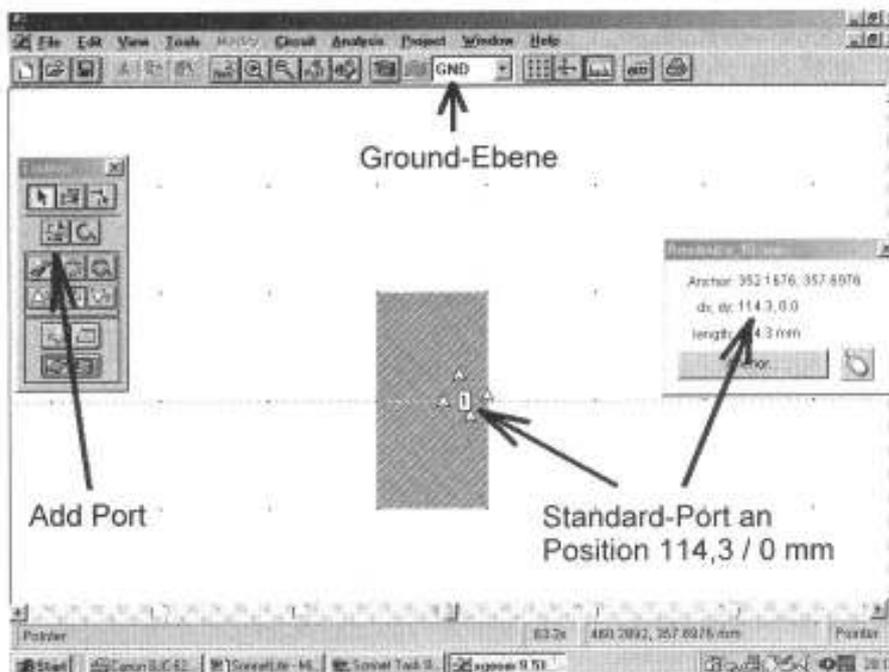


Bild 8:
....und so sollte schließlich der „Standard Port“ beim Via aussehen (Ground-Ebene)

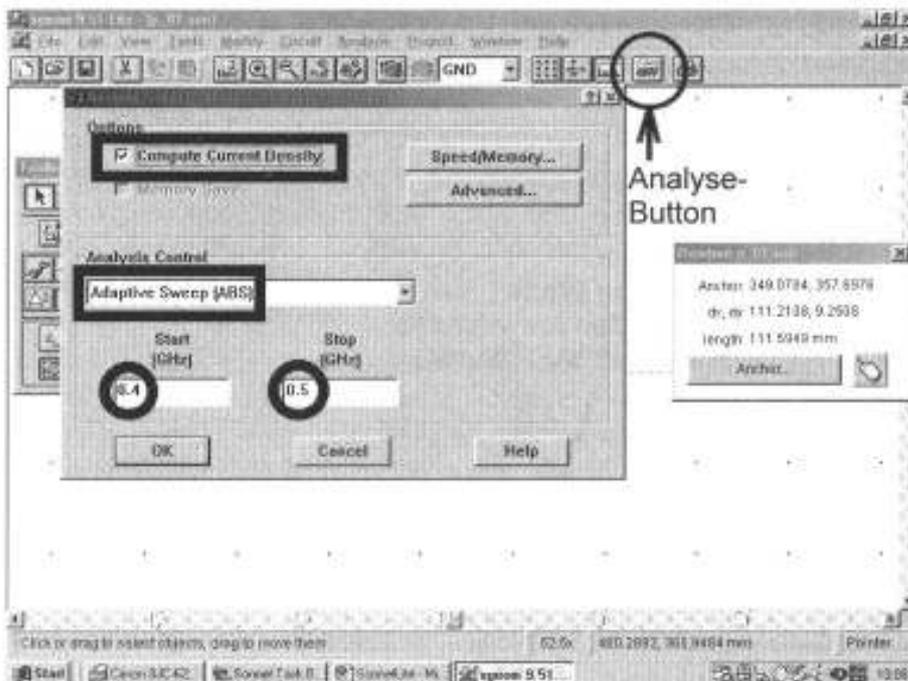


Bild 9:
Sweep-Setup
für den ABS
(Adaptive Band
Sweep).
Stimmt alles?

scheint der über die Durchkontaktierung angeschlossene Port auf dem Schirm als „1“ (bedeutet: Port Nr. 1). **Bild 8** zeigt das Endergebnis in stark vergrößertem Zustand für Ebene „Ground“.

Hinweis:

die Kombination aus „Via“ und „Port“ ermöglicht es, die Induktivität des Innenleiters der speisenden SMA-Buchse mit in die Simulation einzubeziehen, denn genau so wird ja auch mit dem Networkanalysator gemessen. Die SMA-Buchse ist nämlich auf der durchgehend metallisierten Unterseite der Platine mit ihrem Flansch angelötet und der Innenleiter muss die komplette Platinendicke durchqueren, um bis zur Patchkante zu gelangen.

Will man dagegen die Impedanz ohne Abstriche direkt an der Patchkante wissen, dann setzt man dort nur einen „Autoground-Port“.

9. Schritt

Jetzt wird es ernst: die Simulation wird vorbereitet. Im Menü „Analysis“ (Analyse) wählt

man „Setup“ (Einstellungen) und darin gemäß **Bild 9** einen Frequenzbereich von 400 bis 500 MHz, den „Adaptive Band Sweep“ und die Registrierung der Stromdichten (Compute Current Density). Dann wird auf den „Analyse-Button“ gedrückt.

10. Schritt

Nun wird man zum Speichern des Projektes aufgefordert. So - und jetzt ist erst mal Zeit zum Kaffeetrinken, während der PC seine Pflicht tut. Ist er fertig mit der Simulation, dann wird der Analyse-Bildschirm einfach geschlossen (kleines Kreuzchen in seiner rechten oberen Bildecke) und dafür im „Project“-Menü auf „View Response“ (Ergebnis ansehen) und „Add to Graph“ (Kurve zufügen) geklickt. Es erscheint endlich das gewünschte Ergebnis, wobei man mit der Maus auf die Kurve klicken und dann mit den Cursorstasten auf den Resonanzpunkt fahren sollte. Sehr schön sieht man dann die bei der Resonanz gültigen Daten (Siehe **Bild 10**):

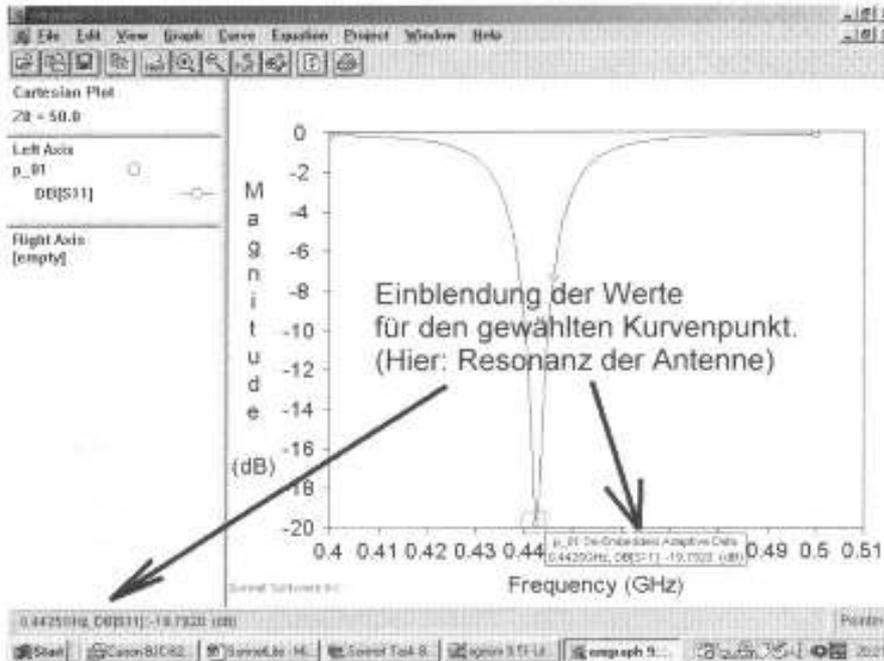


Bild 10: Bei dieser Darstellung wird der simulierte S11-Verlauf in dB ausgegeben

Resonanzfrequenz = 442,5 MHz
und S11 = -19,8 dB.

Der Reflektionsfaktor beträgt damit ca. 10%,
wie auch die Messung mit dem Networkana-

lyзатор bestätigt. Die SONNET-Resonanzfrequenz liegt statt bei 335 MHz (wie im Programm „PATCH16“ vorgegeben) etwas höher bei 442,5 MHz. Dieser Unterschied be-



Bild 11: Im Smith-Chart erhält man dagegen S11 als Magnitude und Phase



trägt aber gerade 2%. Die große Differenz zur Messung (465 MHz) bleibt also weiterhin bestehen und ihre Beseitigung ist Ziel des nächsten Kapitels.

Übrigens: wer das Smithchart zur Darstellung vorzieht, gehe in „Graph“ zu „Type“ und „Smith“. Dort empfängt ihn **Bild 11** und der berühmte Klick auf die Kurve blendet wieder die zugehörigen Werte ein.

Wer sich noch für die Stromverteilung auf dem Patch interessiert, muss unter „Project“ einfach „Current View“ (Stromverlauf sichtbar) aufrufen und anschließend die gewünschte Frequenz einstellen. In **Bild 12** ist das stark gezoomte Ergebnis bei der Resonanzfrequenz zu sehen. Schade, dass die vielen Farben der Darstellung im Artikel nicht wiedergegeben werden können.

3.3. Neue Dimensionierung der Antenne mit SonnetLite

Die Ursache der Frequenzabweichung ist schlicht und einfach eine schon im Datenblatt des FR4-Materials zu hoch angegebene

Dielektrizitätskonstante von 4,8. Also verkleinert man im Menü „Dielectric Layers“ einfach den eingetragenen Wert auf

$$\left(\frac{442,5\text{MHz}}{465\text{MHz}}\right)^2 \cdot 4,8 = 4,35$$

(Sie erinnern sich sicher, dass bei der Verkürzung von Wellenlängen auf einer Leitung mit Dielektrikum eine Wurzel im Spiel ist...).

Wiederholt man damit die Simulation, so erhält man tatsächlich die gemessene Resonanzfrequenz von 465 MHz. Und jetzt geht es ganz schnell in Richtung Ende, denn eine kleine Überlegung hilft weiter:

Wenn man einfach die bisherige Patchlänge von 154,18 mm um das Verhältnis (465 MHz / 435 MHz) vergrößert, sollte die Resonanz von 465 MHz auf 435 MHz sinken. Dazu gehört eine neue Länge von 164,8 mm. Die teilt man gleich durch 50 und bekommt für die SONNET-Kontrollsimulation eine neue Zellenlänge von $\Delta_y = 3,296$ mm.

Leider wird die Sache ab jetzt etwas mühsam, denn bei einer Änderung an der Zellen-

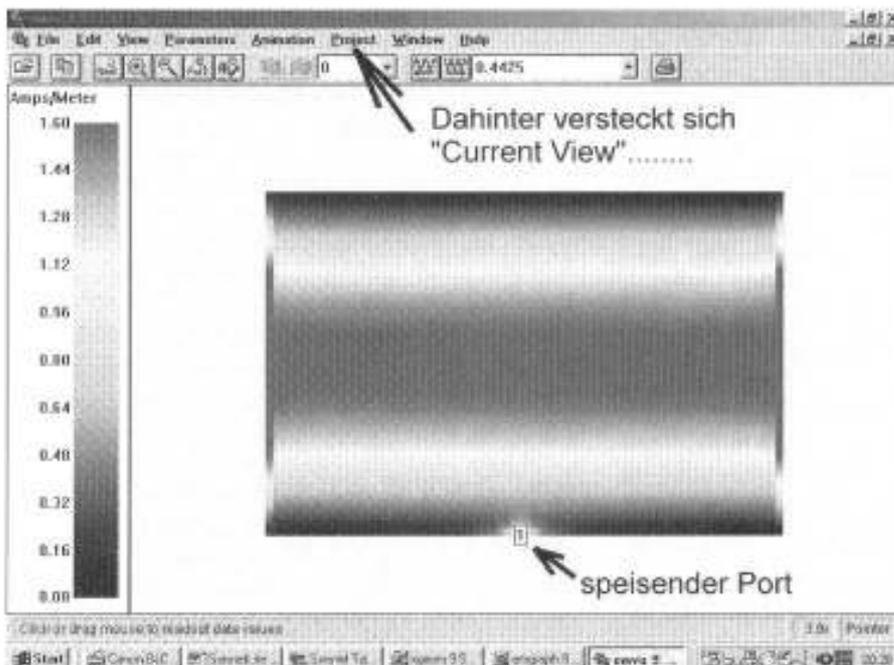


Bild 12:
Endlich kann man sich ein Bild vom Stromverlauf bei so hohen Frequenzen machen!

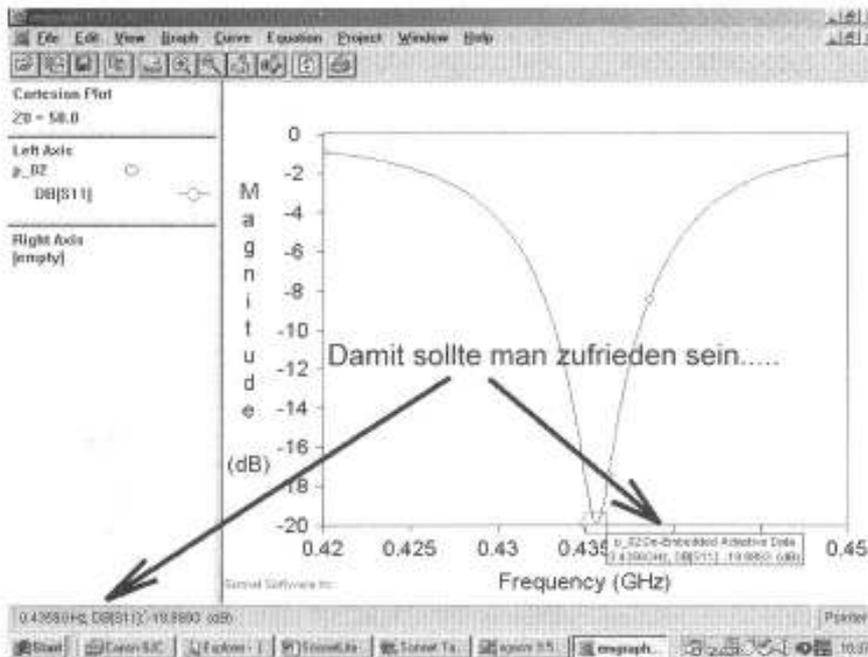


Bild 13:
Zufriedenstellen-
der Verlauf für die
umdimensionierte
Antenne:
 $|S_{11}| = -20$ dB
bei 435,5 MHz

länge muss man die alte Struktur komplett löschen und alles nochmals (einschließlich Via und Port) neu zeichnen!

Wichtig:

a. Bitte beim Eintrag des neuen Wertes von 3,296 mm bei „y“ das „Lock“ nicht vergessen und auch die Anzahl der Zellen in Y-Richtung wieder auf 273 stellen - die ändern sich nämlich! Und steht beim Boden der Box noch das „Copper“ im Fenster?

b. Auch bei den „Metal Layers“ sollte man nochmals kontrollieren, denn die Einstellung schnappt bei Änderungen leider gern von „Copper“ auf „lossless“ zurück.

Stimmt alles, kann neu simuliert und das Ergebnis analysiert werden. Es zeigt sich, dass die gewünschte Resonanzfrequenz nun fast getroffen wird, aber die Trägermaterialverluste noch nicht passen (denn S_{11} wird als zu gut ausgegeben). Also korrigiert man solange weiter, bis man die Daten nach **Bild 13** erreicht hat.

Dazu gehören eine Patchlänge von 164,8 mm, eine Patchbreite von 228,6 mm, eine Dielektrizitätskonstante von $\epsilon_r = 4,35$, ein neuer Verlustfaktor von 0,0125 und eine Kupfereauflage mit 35 Mikrometer Dicke.

3.4. Kontrolle mit PUFF und die Stunde der Wahrheit

Dazu ist zuerst nochmals eine Simulation mit SonnetLite notwendig:

Sobald man nämlich davon ausgeht, dass das Trägermaterial und die verwendeten Metallteile völlig verlustfrei sind, erhält man als Simulationsergebnis den reinen Strahlungswiderstand der Antenne an der Patchkante!

Also, nochmal ans Werk: alte Struktur löschen, alle Metalle (in der „Box“ und unter den „Metal Types“) auf „lossless“ umstellen, den Verlustfaktor des Dielektrikums auf Null setzen und schließlich alles neu zeichnen (samt Via und Port...).

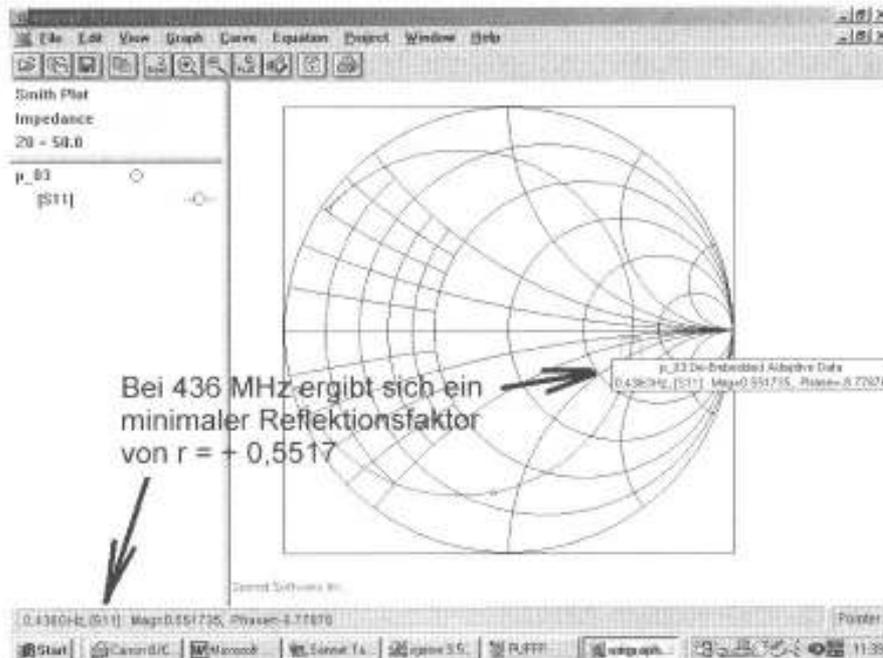


Bild 14:
Über den Reflektionsfaktor der (theoretisch) verlustfreien Antenne kommt man an den reinen Strahlungswiderstand heran

Der Lohn der Mühe ist in **Bild 14** zu sehen: zum simulierten Reflektionsfaktor von +0,5517 bei 436 MHz gehört ein Eingangswiderstand von

$$R_{\text{ein}} = \frac{1+r}{1-r} \cdot 50\Omega = \frac{1+0,5517}{1-0,5517} \cdot 50\Omega = 173\Omega$$

Also wirken an jeder Patchkante 346 Ω als Strahlungswiderstand und das notiert man sich für die PUFF-Simulation, die auch gleich durchgeführt werden soll.

In bekannter Weise wird zuerst das PUFF-Setup-File mit einem Editor geöffnet und darin eine Dielektrizitätskonstante mit $\epsilon_r = 4,35$ sowie ein Verlustfaktor von 0,0125 eingetragen. Auch die Designfrequenz von 435 MHz = 0,435 GHz kann jetzt schon eingetragen werden. Dann wird PUFFP geöffnet (Na, arbeiten Sie auch schon mit der neuen Batchdatei „PUFFP_XP.bat“?) und der alte Setup-Layout-Bildschirm F1 gelöscht. In der Li-

ste F3 wird zuerst der Strahlungswiderstand mit 346 Ω eingetragen und dann geht es an die Realisierung des Patches in Form einer sehr breiten und damit niederohmigen Mikrostreifen-Leitung. Ihr Wellenwiderstand wird solange geändert, bis man die gewünschte Breite von 228,6 mm erreicht. Die mechanische Länge gibt man dagegen direkt ein und errechnet sie vorher. Zu den 164,8 mm kommt auf jeder Seite die Open End Extension dazu, sie beträgt bei dieser großen Leitungsbreite etwa einer halben Platinendicke - das sind auf jeder Seite rund 0,75 mm. So landet man bei ca. 164,8 mm + 1,5 mm = 166,3 mm. Also lautet der erforderliche Eintrag in Feld F3 nach einigem Probieren (wissen Sie noch: den Wellenwiderstand ändern, dann das Gleichheitszeichen drücken und die Breite kontrollieren):

|| 1.187 Ω 166,3mm

Das Simulationsergebnis zeigt **Bild 15** und der einzige echte Unterschied zu SONNET ist der mit nur -18 dB etwas zu pessimistisch vorausgesagte Wert von S11, also der Ein-

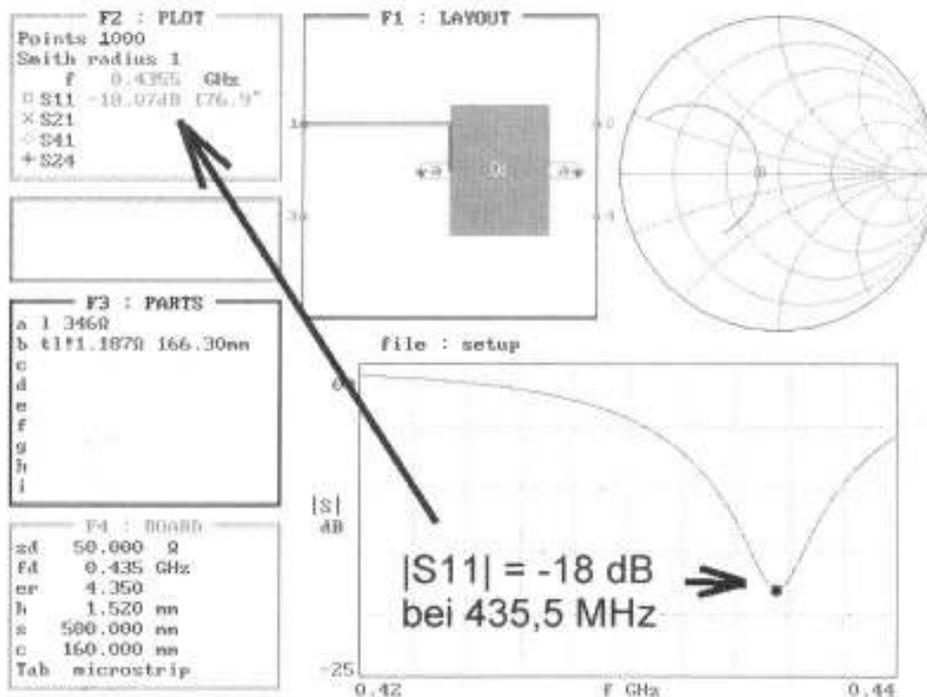


Bild 15:
PUFF stimmt
dem Ergebnis
von SONNET,
entsprechend
Bild 13 im
Prinzip zu

gangs-Reflektion. (PUFF kommt auf höhere Verluste bei der Transformationsleitung und erst ein etwas kleinerer Verlustfaktor von 0,012 ergibt auch hier exakt den Wert von $S_{11} = -20 \text{ dB}$).

Auf das Messergebnis der mit den neuen Maßen gefertigten Antenne ist sicher schon jeder gespannt (Patch 228,6 mm x 164,8 mm auf einer FR4-Trägerplatte mit 210 mm x 297 mm, Platinendicke = 1,52 mm).

Hier ist es:

Die gemessene Resonanz liegt bei 438 MHz mit einem minimalen Eingangsreflektionsfaktor von -0,1.

Na also! Und diesen Restfehler zu korrigieren, dürfte nicht schwer fallen: die Patchlänge von 164,8 mm wird einfach nochmals um den Faktor (438 MHz / 435 MHz) erhöht, eine weitere Antenne mit der Länge 165,93 mm gefertigt und dann sollte alles passen.

4.

Zweites Demo-Beispiel: Ein scheibenförmiges Patch für GPS-Empfang

Ein weiterer Fall aus der Praxis:

Ein anderer Funkfreund überreichte mir ein Gebilde mit der Bitte, dieses zu untersuchen, ob es sich wirklich um eine GPS-Patch-Antenne handelt.

Das Trägermaterial ist wiederum FR4 mit einer Dicke von 1,52 mm. Die Unterseite ist durchgehend kaschiert, auf der Oberseite findet sich eine kreisförmige Kupferfläche mit 53 mm Durchmesser. In einer Entfernung von 16 mm (gemessen von der Außenkante des Kreises) ist der bekannte Insert-Feed in Form einer von unten her aufgelöteten SMA-Flanschbuchse zu sehen. Also ein ähnliches Problem wie im vorigen Beispiel - aber eben rund! Da soll nun SONNET zeigen, was es kann.

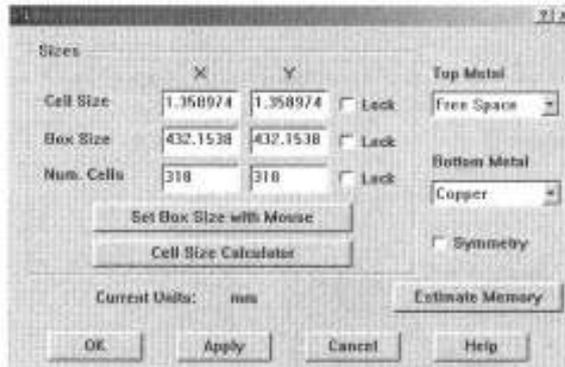


Bild 16: Gewählte Box-Einstellungen für das kreisförmige Patch

Allerdings dürfen die Daten des FR4-Materials (Dielektrizitätskonstante = 4,35 und Verlustfaktor = 0,0125) nicht einfach aus dem vorhergehenden Beispiel übernommen werden, denn mit steigender Frequenz nehmen die Verluste des Trägermaterials zu. Studiert

man dazu mal genau verschiedene Herstellerunterlagen (z.B. von ROGERS), so ergibt sich meist ein Anstieg des „loss tangent“ mit der Wurzel aus der Frequenz. Also muß man bei 1575 MHz wohl mit einem neuen Verlustfaktor von

$$it = \sqrt{\frac{1575\text{MHz}}{435\text{MHz}}} \cdot 0,0125 = 0,02378$$

simulieren. Die „Copper“-Einstellung für die Metallflächen behält man natürlich bei.

Bei der Wahl der Zellengröße zeigte es sich, dass mit etwa 44 Zellen in jeder Richtung der belegte Speicherplatz gerade noch unter 16 Megabyte liegt. **Bild 16** zeigt die endgültig gewählten Box-Einstellungen, mit denen auf das Zeichnen der Struktur losgegangen wurde. Zur Erstellung des kreisförmigen Patches braucht man nun die „Donut“-Option aus der Toolbar. **Bild 17** zeigt genau, wie damit aus der Unterlegscheibe durch geeignete Einstellungen ein Kreis hergestellt werden kann. Dann wird in nun schon bekannter Weise dieser Kreis platziert und eine Durchkontaktie-

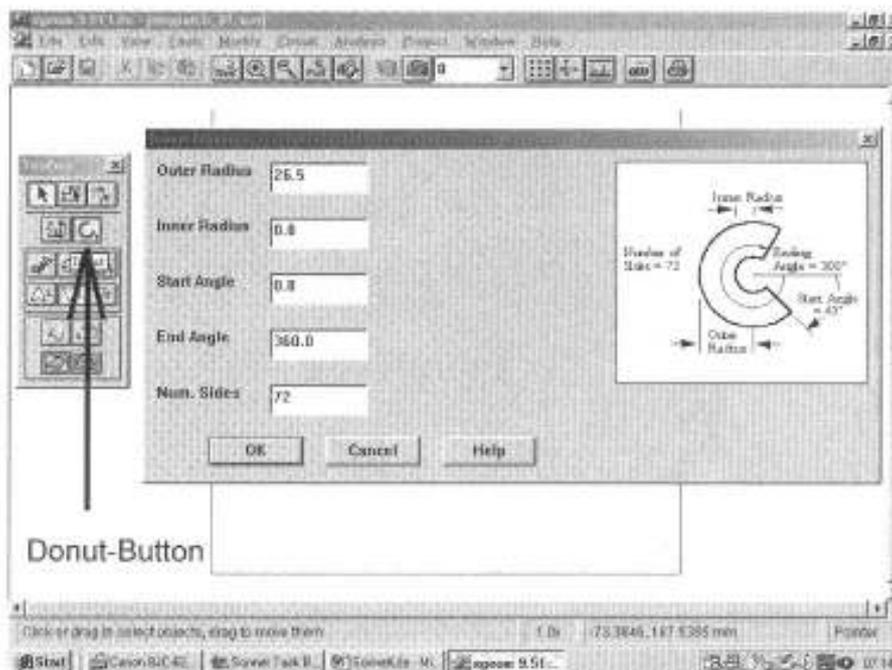


Bild 17: So funktioniert man ein „Donut“ in einen Kreis um

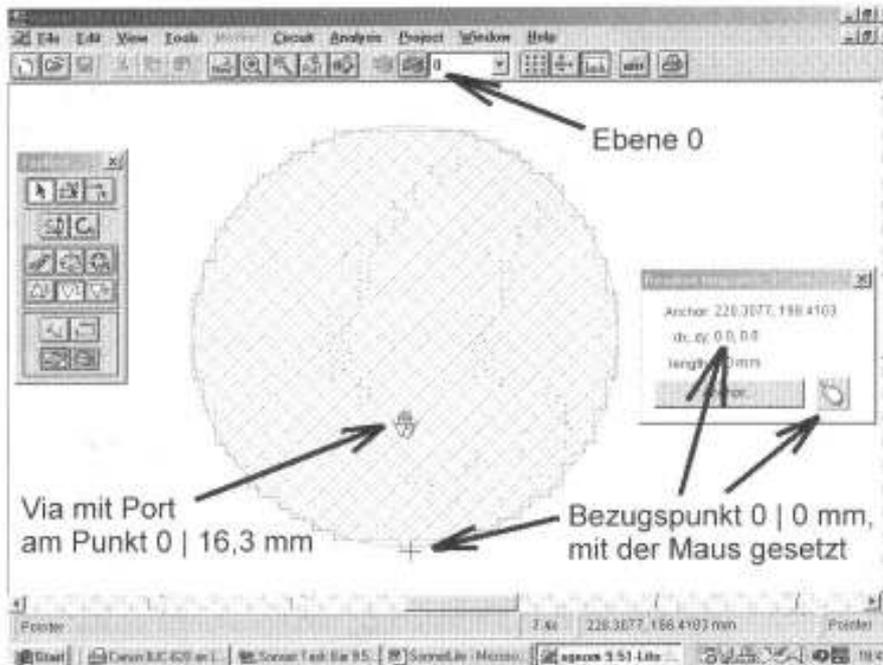


Bild 18:
Vollständige
Kreis-Struktur
mit "Via"
und Port

rung (Via) samt Standard-Port angebracht. **Bild 18** demonstriert sehr schön, wie das Programm den gewünschten Kreis aus den vielen einzelnen Zellen zusammenstellt. Au-

ßerdem wurden wieder mit Hilfe des „Measuring Tools“ das „Via“ und der Port im Abstand von etwa 16 mm (bezogen auf die unterste Patchkante) angeordnet.

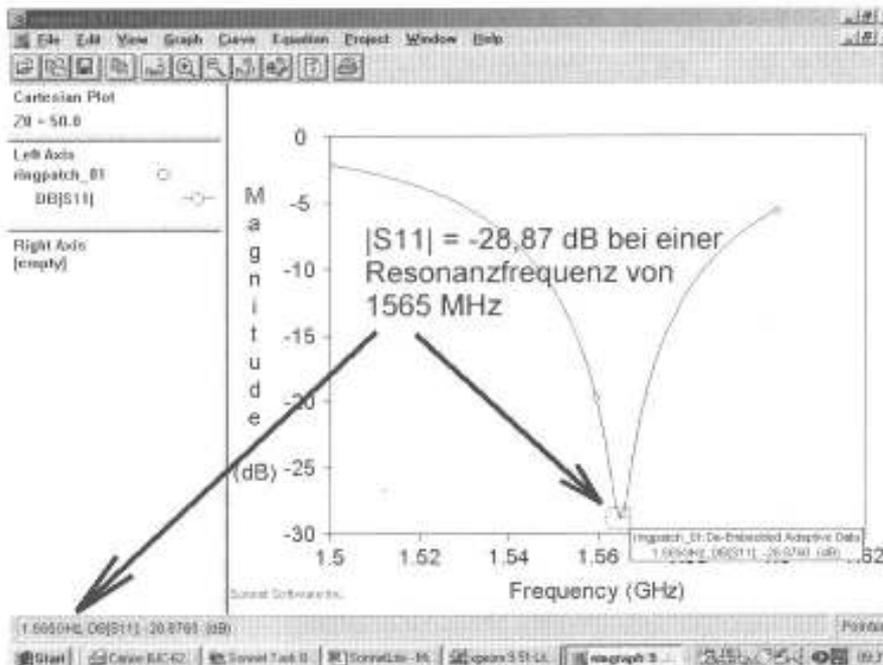


Bild 19:
Simulierter
S11-Verlauf
des runden
Patches in dB...

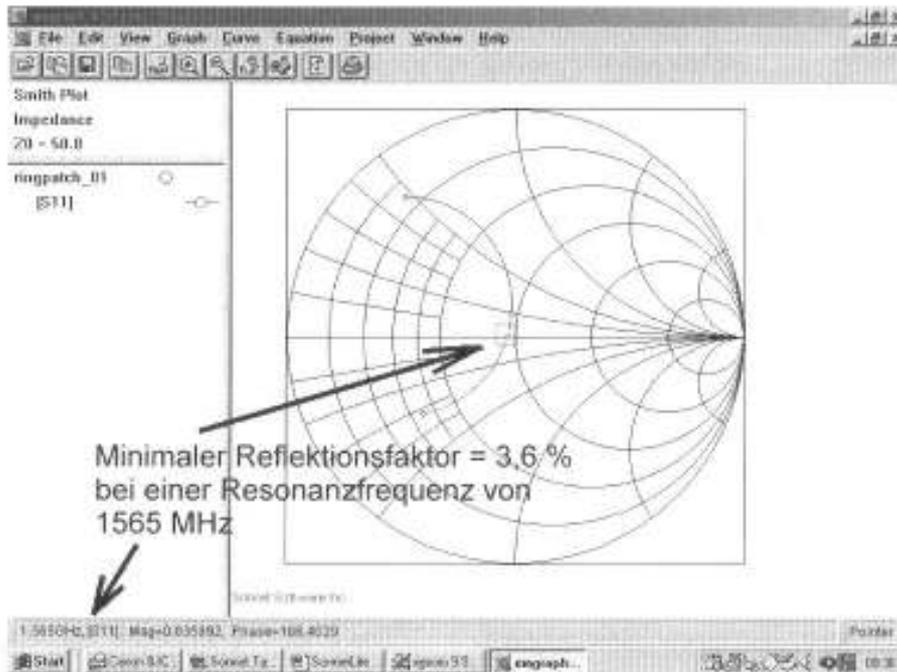


Bild 20:
...und zusätzlich
im Smith-Dia-
gramm als
Magnitude
und Phase.

Es zeigt sich eine
ganz passable
Anpassung!

Die Simulationsergebnisse sind in **Bild 19** sowie **Bild 20** (S11 im Frequenzbereich von 1,5 bis 1,6 GHz) zu sehen - das Gebilde ist wahrhaftig eine Antenne! Wenn es aber eine

strahlende Antenne ist, müsste man das anhand der Stromverteilung bei der Resonanzfrequenz sehen können. Deshalb folgt diese nun in stark gezoomter Darstellung in **Bild 21**

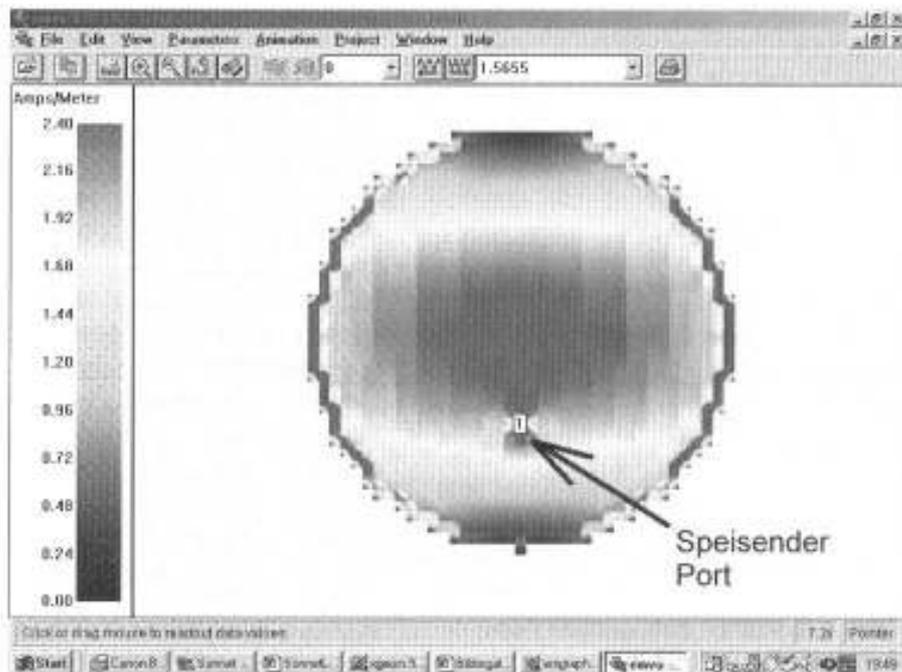


Bild 21:
Interessanter
Stromverlauf
auf dem runden
Patch bei
Resonanz

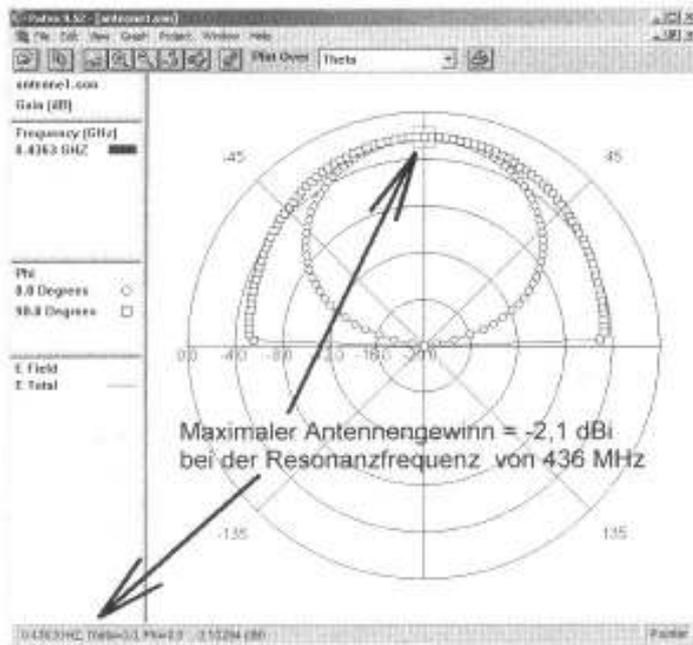


Bild 22: Richtdiagramm samt „Gewinn“ des rechteckigen Patches bei 436 MHz (Siehe Text)



Bild 23: Richtdiagramm samt „Gewinn“ des runden Patches bei 1570 MHz (Siehe Text)

und sie ähnelt natürlich derjenigen des rechteckigen Patches in Bild 12.

5. Zusammenfassung und Dank

Besondern Dank möchte ich an dieser Stelle noch Herrn Dr. Volker Mühlhaus in Witten aussprechen, der sich als deutscher SONNET-Vertreter bei allen Fragen und Problemen als äußerst kompetent und kooperativ erwies (kein Wunder: schließlich ist er ebenfalls Funkamateurl...).

Sein Beitrag und ein „Trostpflaster“ zu diesem Artikel sind unter anderem die **Bilder 22 und 23**, nämlich die ersehnte (und in der besprochenen Lite-Version gesperrte) Simulation der Strahlungsdiagramme des rechteckigen und des runden Patches.

Beide Antennen weisen natürlich ähnliche Richtdiagramme auf, aber die wichtigste Sache erkennt man erst beim genauen Hinsehen: FR4 ist für diesen Zweck selbst bei 400 MHz schon kaum mehr brauchbar und mit so hohen Verlusten behaftet, dass bei beiden Antennen der Gewinn von den theoretischen +5,5 bis +6,5 dBi auf 0 bis -2dBi absackt! Der einzige Trost ist die dadurch erhöhte Bandbreite, die den Einsatz solcher Antennen (wie schon erwähnt) nur bei Verbindungen über kurze Strecken und bei klei-

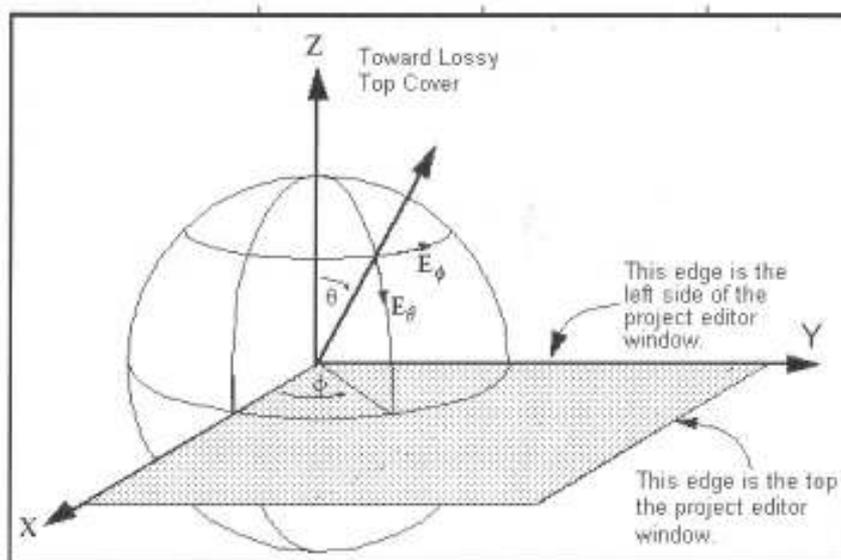


Bild 24:
Das sollte man sich zur Analyse der Bilder 22 und 23 genau zu Gemüte führen: von SONNET verwendete Definitionen des Koordinatensystems

nen bis mittleren Sendeleistungen sinnvoll erscheinen lässt.

In **Bild 24** ist noch ein Auszug aus dem SONNET-Manual mit dem für die beiden Richtdiagramme gültigen Koordinatensystem zu sehen. Darin sind die in der Antennentechnik üblichen Richtungs- und Winkeldefinitionen sowie die Festlegung von E_ϕ und E_θ gut zu sehen.

Wer damit noch Probleme hat, dem sei ein Tipp verraten: man besorge sich das schon in den „UKW-Berichten“ besprochene Programm „mstrip40“, installiere es und lade eines der mitgelieferten Patchantennen-Beispiele - etwa „Demo2“. Dann rufe man das Pattern-Menu auf, wähle darin erst „Kos“ und anschließend „Pattern 2D“. Voll Freude stellt man fest, dass man fast genau dasselbe zu sehen bekommt wie in Bild 22 oder 23.

Aber man hat nun zusätzlich die Möglichkeit, per Tastendruck den Betrachtungswinkel in Schritten von 5 Grad weiterzuschalten und kann so gut beobachten, wie die einzelnen Strahlungsdiagramme für E_ϕ oder E_θ zustande kommen. Sehr zu empfehlen, auch für Spezialisten!).

Insgesamt lässt sich abschließend sagen:

Der augenblickliche Stand von SonnetLite 9.51 bietet sowohl dem Hobby-Entwickler, als auch dem Profi beträchtlich erweiterte Möglichkeiten zur Entwicklung und Untersuchung neuer Projekte. Aber das beste Kompliment, das man einem kostenlose Programm machen kann, ist die Eingangsbeobachtung: „...Es bleibt nur noch ein einziger Wunsch offen...“. Und der sei hiermit wiederholt.

Hinweise

Beschaffungsmöglichkeit:
Internet-Adresse von SONNET:
<http://www.sonnetusa.com>

Deutsche Vertretung und Anlaufstelle:
Ingenieurbüro Dr. Volker Mühlhaus, Witten
(<http://www.muehlhaus.com>)