



Gunthard Kraus, DG 8 GB

## Praxisprojekt: Robuste und nachbausichere Patchantennen für den WLAN-Bereich bei 2,45 GHz

### Teil 1

**Es war schon immer der Wunsch jedes Funkers, die Reichweite seiner Sendestation möglichst einfach und preiswert zu erhöhen. Daran ändert sich auch im Computer-Zeitalter beim WLAN-Bereich nichts und darum geht es in diesem Artikel.**

#### 1. Vorbemerkungen

Die drahtlose Anbindung von Computern jeder Bauart an eine Feststation („Access Point“) und damit an ein Netzwerk oder das Internet nimmt zu und läuft üblicherweise im Bereich um 2,45 GHz ab. Auch Funkamateure bedienen sich immer mehr dieser Möglichkeiten und grübeln darüber nach, wie man die gesetzlich über die Sendeleistung beschränkte Reichweite erhöhen kann, ohne gleich kriminell zu werden. Ein probates Mittel waren schon immer Richtantennen, die die abgestrahlte Energie in bestimmte Richtungen bündeln. Sie lassen sich sowohl auf

der Sender- als auch auf der Empfängerseite einsetzen und bieten eine Reihe interessanter Möglichkeiten:

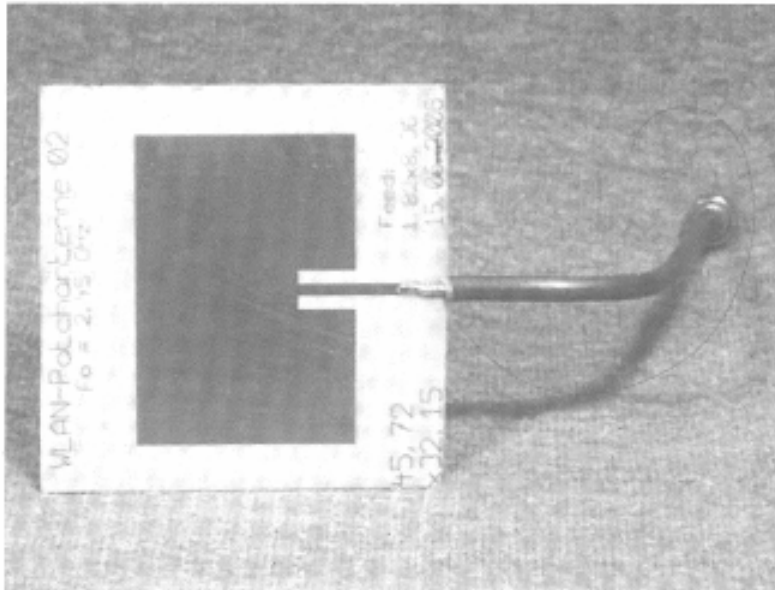
- wahlweise höhere Empfänger-Antennenspannung bei gleicher Entfernung und damit bessere Übertragungsqualität (z.B. durch den SINAD-Abstand ausgedrückt) ODER größere Reichweite bei gleicher Antennenspannung im Empfänger;

- keine Rundumstrahlung mehr und dadurch Ausblendung unerwünschter Ausbreitungs- bzw. Einfallrichtungen;

- Einrichtung gezielter Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, (z.B. nach Sicht und möglichst abhörsicher gestaltet)

usw.

Bei 2,45 GHz ist die Wellenlänge schon recht klein (exakt sind das 122,45 mm in Luft) und die für viele Antennenkonstruktionen wichtige halbe Wellenlänge liegt damit bei guten sechs Zentimetern. Damit lassen sich bereits recht handliche Antennen realisieren und nicht rein zufällig fiel die Wahl hier auf die Patchantenne.



**Bild 1:**  
**Rechteckiges Patch**  
**mit 50 Ohm-Streifen-**  
**leitungs-Einspeisung**  
**bis zum Anpassungs-**  
**punkt in der Patch-**  
**fläche; das spart**  
**die Transformations-**  
**leitung**

Diese Antenne

a) ist äußerst einfach und robust aufgebaut, denn sie besteht nur aus einer zweiseitig kaschierten Leiterplatte.

b) Sie läßt sich gleich so entwerfen, dass automatisch die Anpassung an 50 Ohm erfüllt ist und deshalb zusätzliche Anpass-Schaltungen entfallen.

c) Sie schirmt „nach rückwärts“ vollkommen ab, bietet deshalb ein vorzügliches Vor-Rück-Verhältnis und nur das „halbe Richtdiagramm eines Dipols“ mit entsprechendem Gewinn.

d) Sie besitzt einen Gewinn von max. 6,5 dBi und verdoppelt deshalb beim Empfänger in Hauptstrahlrichtung die Antennenspannung gegenüber dem Kugelstrahler. Gegenüber dem Dipol oder der Stabantenne sind es natürlich weniger, etwa 4,5 dB.

Rüstet man bei einer Verbindung zusätzlich den Sender damit aus, erhält man einen Gesamtgewinn der Verbindung von ca. 9 dB gegenüber den vorher verwendeten Serienantennen und damit auf etwas weniger als die dreifache Antennenspannung. Legt man weiter zu Grunde, dass im Fernfeld die er-

zeugte Antennenspannung im Empfänger linear mit dem Abstand der beiden Stationen abnimmt, erreicht man damit folglich die dreifache Reichweite.

Natürlich gibt es hier auch einige Punkte zu beachten:

Die Patchantenne ist ein schmalbandiges, resonantes Gebilde mit einem Richtdiagramm in Form der „halben Acht“ bei einem einzelnen Patch. Idealerweise wird sie nur auf einer einzigen Frequenz betrieben. Daher muss man beim WLAN-Bereich an den Bandgrenzen, auch bei korrekter Auslegung, mit einem deutlichen Abfall rechnen, außerdem ist für diese größere Bandbreite ein dickeres Platinenmaterial UND eine große mechanische Breite des Patches erforderlich. Also wird es in der Praxis wohl nur etwas weniger als die dreifache Reichweite werden....

Die Ansprüche an die Leiterplatte sind sehr hoch. Neben absoluter mechanischer Stabilität und geringen Verlusten bei der Betriebsfrequenz werden geringe Temperatur- und Feuchtigkeitsabhängigkeit aller elektrischen Daten gefordert. Zusätzlich muss bei der Fertigung eine Genauigkeit von 0,01 mm einge-



**Bild 2: Links das rechteckige, rechts das runde Patch mit Speisung über eine SMA-Buchse von der Unterseite her. Das sind einfache und robuste Konstruktionen**

halten werden. Zum Trost: wenn man alles in den Griff bekommen hat, kann eine solche Antenne im Alltag auch mal auf den Boden fallen, ohne Schaden zu nehmen und im Betrieb erweist sie sich als äußerst robust und gutmütig. Der Nachbau klappt auch bei größeren Serien ohne Probleme.

An dieser Stelle sind bereits etliche Artikel zur Arbeitsweise und zum Entwurf von Patchantennen für verschiedene Frequenzbereiche erschienen, z.B. [1], [2] oder [3]. Deshalb soll die Einführung sehr kurz gehalten und gleich auf das Praxisprojekt gezielt werden.

Hier geht es nicht nur um die Entwurfsprozedur und die erforderlichen Schritte bis zur Serienreife - ein wichtiger Gesichtspunkt ist auch der Verzicht auf den Einsatz teurer EM-Simulationsprogramme als Vollversionen. Diese hat kaum jemand an der Hand und zum Einsatz von Raubkopien soll niemand verführt werden. Deshalb wird versucht, mit dem auszukommen, was man kostenlos aus dem Internet holen kann. Was dann noch fehlt, wird durch Einfallsreichtum ersetzt!

## 2. Vorgaben und Pflichtenheft

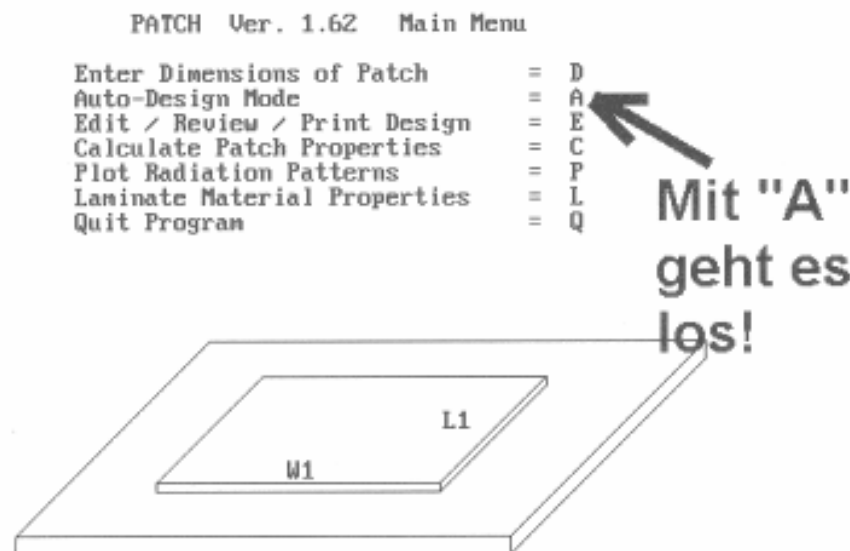
Es sollen drei verschiedene Antennenformen, jeweils als einzelnes Patch, entworfen, gebaut und untersucht werden.

Die Abmessungen der Träger-Leiterplatten sollen etwa 80 mm x 60 mm betragen, wobei die Speisung über SMA-Buchsen erfolgt.

Die Resonanzfrequenz sei 2450 MHz, wobei eine Bandbreite von 60 MHz nötig ist, um den ganzen Frequenzbereich von 2420 bis 2480 MHz abzudecken.

Als Platinenmaterial wird ROGERS R04003 mit seiner vorzüglichen mechanischen Stabilität und Bearbeitbarkeit eingesetzt. Die beidseitig beschichtete Platine weist eine Dicke von 1,52 mm (= 60 MIL), 35 µm Kupferauflage, eine Dielektrizitätskonstante von 3,38 sowie einen Verlustfaktor von 0,001 bei 2 GHz auf.

Nun sollen die anvisierten Endprodukte mal genauer betrachtet werden:



**Bild 3:**  
Das ist der Start-  
bildschirm von  
„patch16“.  
Die Taste „A“  
startet den Auto-  
Design-Modus

Ein rechteckiges Patch mit „Insert Feed“ und einer  $50\ \Omega$ -Streifenleitung zur Speisung ist in **Bild 1** zu sehen. Durch den gewählten Startpunkt der Speiseleitung innerhalb der Patchfläche beginnt diese exakt beim geforderten Eingangswiderstand von  $50\ \Omega$ . Bitte nicht erschrecken: das trickreich und reflexionsarm angeschlossene Semirigid-Kabel mit SMA-Stecker dient nur solange als Zuleitung, bis das richtige Teil im Haus ist: ein „SMA-Platinen-Stecker“, der sich auf der Unterseite sauber mit der Masse verlöten lässt und einen abgeflachten Mittelleiter zur reflexionsarmen Verbindung mit der Streifenleitungs-Zuleitung auf der Platinenoberseite aufweist.

Die beiden anderen Antennenentwürfe zeigt **Bild 2**. Es handelt sich um ein rechteckiges und ein rundes Patch. Die Speisung erfolgt innerhalb der Patchfläche über eine SMA-Buchse, die auf der unteren Massefläche aufgelötet wird. Beide Versionen sind handlich und robust, wobei sich die runde Ausführung wegen der fehlenden Ecken und Kanten, im harten Alltag besser bewähren dürfte. Erkauft wird das allerdings mit einer deutlich schmaleren Bandbreite. Außerdem muss man beim Anschließen an den Empfänger oder Sender etwas genauer hinsehen, um die Polarisationssebene korrekt auszurichten.

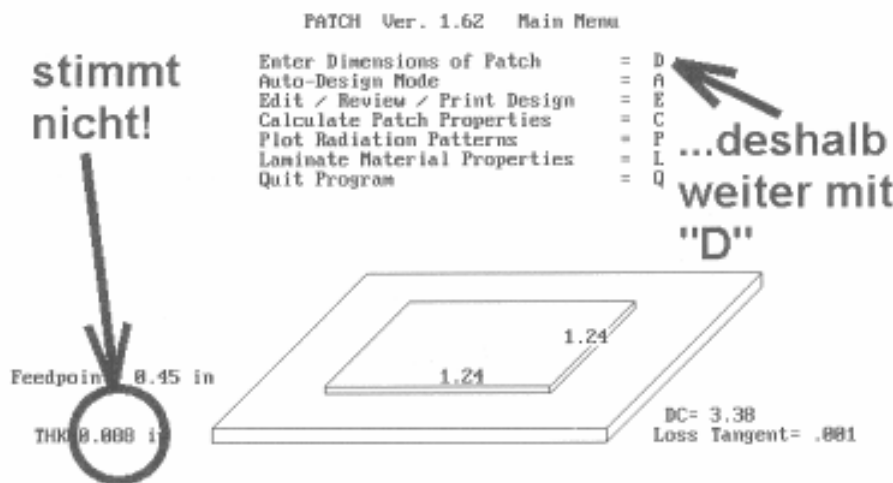
Und selbst für Fachleute wirkt sie im ersten Moment schon sehr ungewöhnlich.

### 3. Entwicklung der rechteckigen Patchantenne

Zu Beginn wird die einfache Antenne in Rechteckform gewählt, die von der Unterseite her gespeist wird. Hierfür gibt es im Internet ein kostenloses Designprogramm mit dem Namen „patch16“. Es wird interessant sein, dessen Vorgaben mit einem echten Hochleistungs-EM-Simulator nachzuprüfen und anschließend die erste Platine nach dieser Simulation zu fertigen. So bekommt man ein Gespür für die zu erwartenden Abweichungen und kann sie bei den nächsten Entwürfen berücksichtigen.

#### 3.1. Ausgangsentwurf mit dem Programm „patch16“

Dieses Programm wird aus dem Web auf den eigenen Rechner geladen, installiert und gestartet. Es läuft auch unter Windows-XP ta-



**Bild 4:**  
Der Auto-Design-Modus geht von einer zu dicken Platine aus; deshalb wechselt man mit „D“ zum Design-Modus

dellus und auf die Begrüßung „Do You need instructions“ antwortet man mit „Nein“. In der folgenden Auswahl (**Bild 3**) entscheidet man sich für „A“ (= Auto Design Mode) und verwendet folgende Werte für die Fragen, die nacheinander vom Programm in den nächsten Schritten gestellt werden:

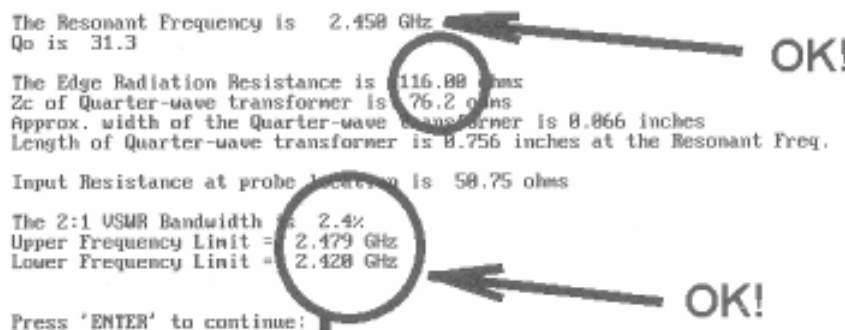
Resonanzfrequenz: 2.45 GHz  
 Bandbreite: 60 MHz  
 Dielektrizitätskonstante: 3.38  
 Verlustfaktor (Loss Tangent): 0.001

Am Ende erhält man einen Bildschirm nach Bild 3, aber es gibt eine tückische Falle zu beachten (**Bild 4**): bei der Platinendicke hat sich das Programm (wegen der vorgesehe-

nen quadratischen Patchform) für ein dickeres Platinenmaterial mit 88 MIL entscheiden müssen, um auf die gewünschte Bandbreite zu kommen. Hier wurde allerdings eine Dicke von 60 MIL vorgegeben. Solange man jedoch auf der Quadratform besteht, kann das Programm seine errechnete Platinendicke nicht aufgeben und deshalb muss hier ein anderer Weg eingeschlagen werden.

Es gilt nämlich :

Eine größere Bandbreite erreicht man bei einer Patchantenne über eine dickere Platine oder eine größere Patchbreite bei beibehaltener Patchlänge (und zusätzlich hilft eine hohe Dielektrizitätskonstante).



**Bild 5:**  
Die Taste „C“ (= Calculate) liefert als Ergebnis immer die Antennendaten samt zugehörigem Strahlungswiderstand



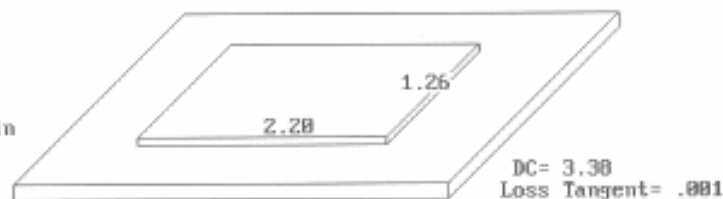
Da müssen  
60 MIL  
stehen!



```

PATCH Ver. 1.62  Main Menu
Enter Dimensions of Patch      = D
Auto-Design Mode              = A
Edit / Review / Print Design  = E
Calculate Patch Properties     = C
Plot Radiation Patterns       = P
Laminate Material Properties  = L
Quit Program                   = Q

```



**Bild 6:**  
So muss der  
Hauptbild-  
schirm nach  
Abschluss der  
Optimierungen  
aussehen

Also vergrößert man die Patchbreite bei einer Platinendicke von 60 MIL solange, bis man die geforderte Bandbreite von 60 MHz erreicht. Gegebenenfalls korrigiert man nochmals die Patchlänge, um wieder auf die gewünschte Resonanzfrequenz von 2450 MHz zu kommen. Das geht so:

Man notiert sich die vorgeschlagenen Werte für die Länge (1,24 inch), die Breite (auch 1,24 inch) sowie den Speisepunkt (Feedpoint) (0,45 inch) und drückt den Buchstaben „D“ auf der Tastatur. Hier muss man diese Werte einschließlich der Daten des Platinenwerkstoffs R04003 nacheinander eingeben. Sobald man am Ende wieder beim Hauptbildschirm angekommen ist (er entspricht Bild 4, enthält aber nun alle geänderten Werte), kann man „C“ drücken. Jetzt werden die Patcheigenschaften berechnet und - falls das vorgesehen ist - samt der erforderlichen Transformationsleitung aufgelistet.

Man erhöht solange die Patchbreite, bis man etwa die geforderte Bandbreite von 60 MHz erzielt hat. Der Endzustand nach erfolgreicher Optimierung ist in **Bild 5** zu sehen, nun stimmen sowohl die Resonanzfrequenz als auch die Bandbreite. Außerdem findet man den Strahlungswiderstand der Antenne, berechnet für die vordere Patchkante. Den zu-

gehörigen Hauptbildschirm, nun aber mit der korrekten Platinendicke von 60 MIL sieht man in **Bild 6**. Aber nun soll endlich das Geheimnis verraten werden, wie man das erreicht:

Nur wenn man auf „E“ drückt, werden alle Design-Parameter (mit sämtlichen Nachkommastellen!) editiert (**Bild 7**) und können über dieses kleine Menü verändert werden. Man muss solange an der Patchlänge, der Patchbreite und dem Speisepunkt „herumfeilen“, bis sich (immer nach Rückkehr zum Hauptschirm mit „Enter“ und anschließendem Druck auf „C“) endlich das korrekte Ergebnis aus Bild 5 einstellt. Das dauert jedoch nicht so lange, wie es sich anhört.

Alle wichtigen Daten sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Resonanzfrequenz:	2,450 GHz
Bandbreite:	ca. 60 MHz
Gewinn:	6,5 dBi
Gesamter Strahlungswiderstand an der vorderen Patchkante:	116,88 $\Omega$
Patchlänge:	1,2595 inches = 31,99 mm
Patchbreite:	2,2 inches = 55,88 mm
Entfernung des Speisepunktes von der vorderen Patchkante:	0,34 inches = 8,64 mm



These are the design parameters:

Length (L) = 1.2595 inches  
 Width (W) = 2.2 inches  
 Height (H) = 5.999999E-02 inches  
 Dielectric Constant (D) = 3.38  
 Loss Tangent (T) = .001  
 Feedpoint Distance (F) = .34 inches

Do you wish to edit any value? (Y/N):

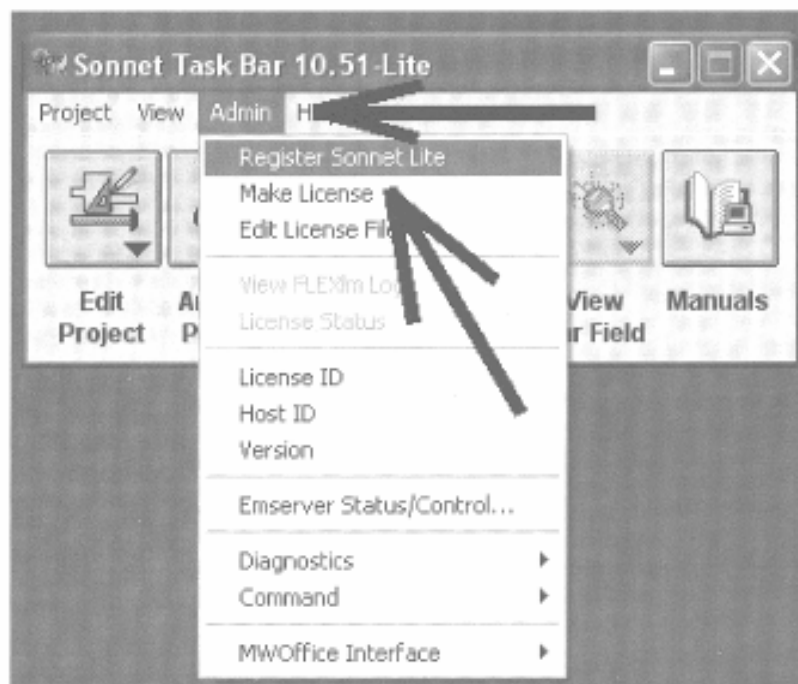
**Bild 7:**  
 Nur über „E“ (= Edit) kommt man an dieses Menü mit den exakten Werte aller Vorgaben heran und kann entsprechend ändern

Dazu noch die Wellenlänge in Luft  
 bei 2450 MHz:  $\lambda = 122,45$  mm

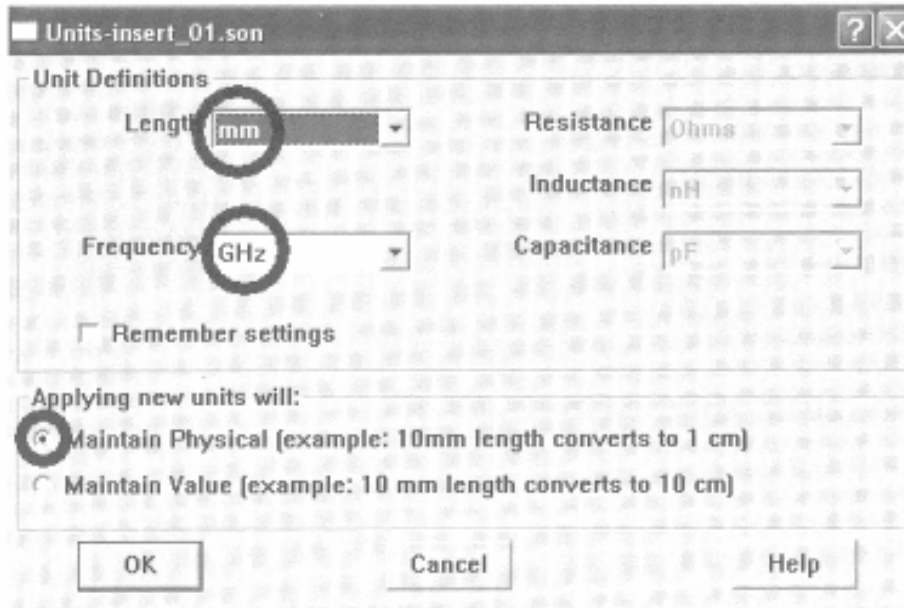
Diese Grundinformationen reichen, um später mit einem guten EM-Simulator auch Strukturen analysieren zu können, die vom simplen Rechteck abweichen. Kostenlos gibt es da im Augenblick nichts Besseres als „SONNETLite“.

### 3.2. Vorarbeiten für den Antennenentwurf mit SONNETLite

Nach dem Download von der SONNET-Homepage ([www.sonnetusa.com](http://www.sonnetusa.com)) installiert man die Software. Auf dem Bildschirm erscheint nach dem Start nur eine kleine „Task Bar“ mit 6 Drucktasten. Leider ist eine davon dauerhaft gesperrt - es ist der



**Bild 8:**  
 Ohne diese Lizenzierung macht SONNET-Lite einfach keinen Spass!  
 Lohn der Mühe ist die Erweiterung des belegbaren Arbeitsspeichers von 1 MB auf 16 MB

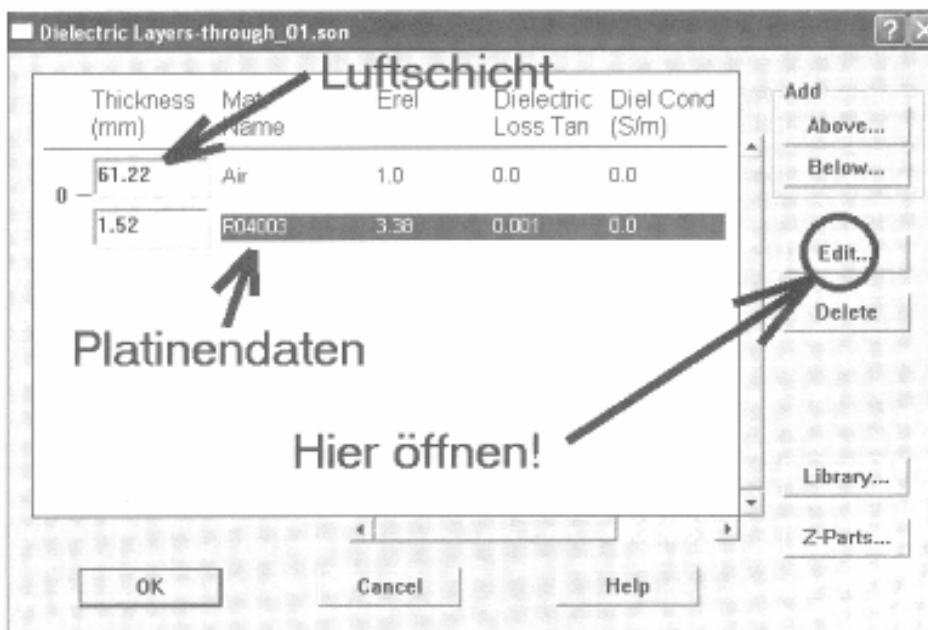


**Bild 9:**  
Stimmen alle  
Grundeinstel-  
lungen (mm / GHz  
/ Beibehaltung der  
physikalischen  
Werte)?

„Farfield Viewer“ und das ist natürlich ein Jammer. Zuerst ruft man hinter dem Pull-down-Menü „Admin“ die Option „Register SonnetLite“ auf und arbeitet diese Prozedur durch (**Bild 8**); sie erhöht kostenlos den zulässigen belegbaren Arbeitsspeicher von 1

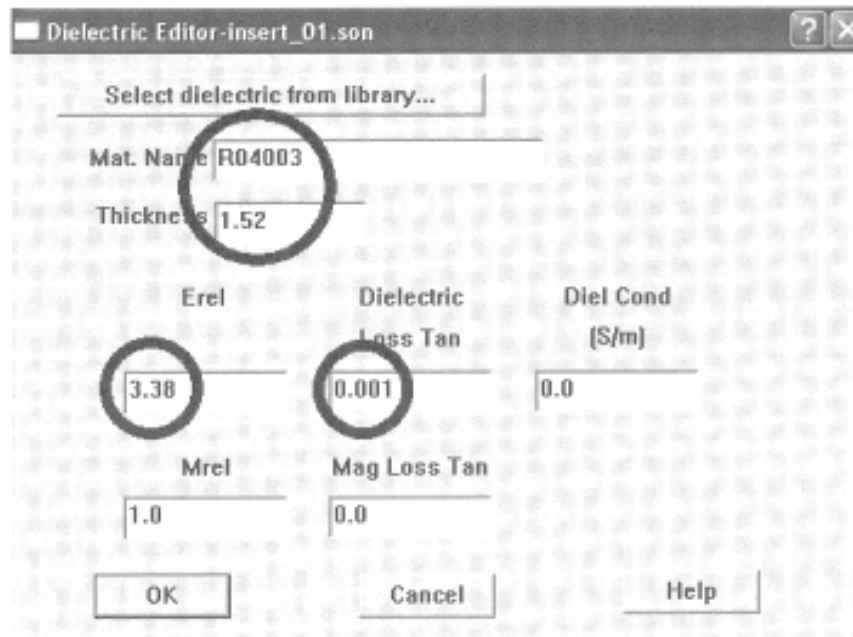
Megabyte auf 16 Megabyte und damit lassen sich die meisten der vorliegenden Aufgaben zufriedenstellend lösen.

Nun kann man mit einem Druck auf die ganz linke Taste („Edit Project“) beginnen und



**Bild 10:**  
Das sind die  
korrekten Ein-  
stellungen für  
die Dielectric  
Layers:  
Unten R04003,  
Oben Luft mit  
einer halben  
Wellenlänge  
als Dicke





**Bild 11:**  
Der untere Layer muss erst editiert werden, um alle Daten für die R04003-Platine eingeben zu können. Bitte auf die richtige Dicke (1,52 mm) achten!

wählt „New Geometry“. Nachdem der zugehörige Editor geladen wurde, speichert man zuerst das Projekt an einem geeigneten Ort und mit einem passenden Namen ab. Anschließend werden sorgfältig die folgenden Schritte nacheinander abgearbeitet, denn diese Einstellungen bleiben - solange man nicht das Platinenmaterial wechselt! - bei allen untersuchten Antennenformen erhalten.

#### 1. Schritt:

Im Menü „Circuit“ befindet sich die Rubrik „Units“. Dort sorgt man dafür, dass mit Millimetern und Gigahertz gearbeitet wird und bei irgendwelchen Änderungen der korrekte physikalische Wert erhalten bleibt (**Bild 9**).

#### 2. Schritt:

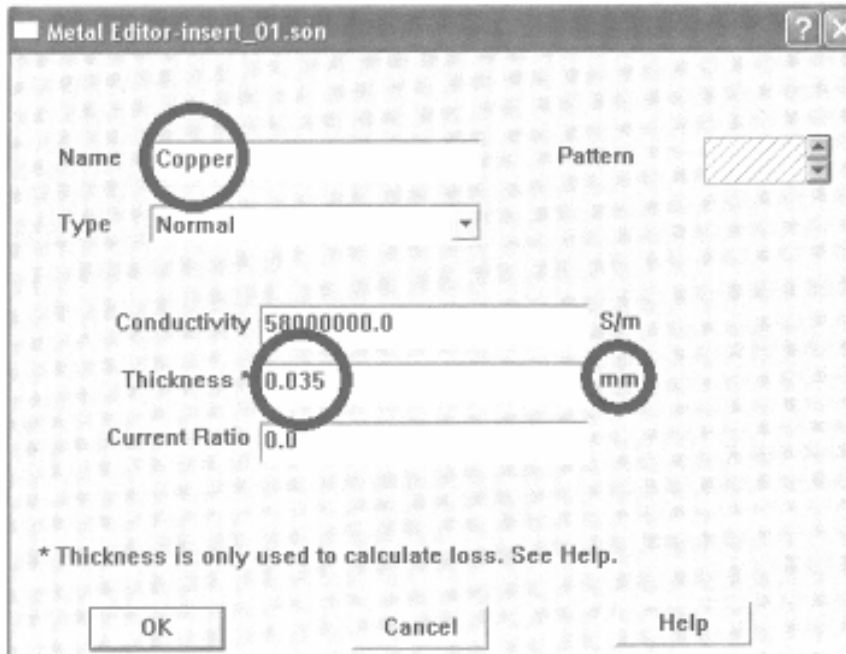
Dann geht es - wieder unter „Circuit“ - an die „Dielectric Layers“ (**Bild 10**). Die Platine für die Antenne findet sich in der unteren Zeile (sie wird als „Layer 0“ bezeichnet) und darüber ist laut SONNET eine Luftschicht mit einer Dicke von einer halben Wellenlänge (61,22 mm) anzuordnen. Zuerst klickt man auf die untere Zeile und markiert sie dadurch (= sie leuchtet blau auf). Mit „Edit“ kann man alle Daten des verwendeten Werkstoffes auf

R04003 umstellen. Als Muster zeigt **Bild 11** den zugehörigen Editor-Bildschirm für die R04003-Eigenschaften. Bitte alles genau so übernehmen!

Ist das erfolgt, markiert man die obere Zeile, editiert das Luftpolster, trägt darin die Luft-Eigenschaften (Thickness = 61,22 mm / Erel = 1.0 / Dielectric loss tangent = 0.0 / Dielectric Conductivity = 0.0) ein und sollte dann endgültig Bild 10 vor sich haben. Bitte dabei die Einstellungen der magnetischen Eigenschaften (Mrel = 1.0 / Mag loss tan = 0.0) unverändert übernehmen!

#### 3. Schritt:

Man geht nochmals in das „Circuit“-Menü. Diesmal braucht man „Metal Types“ und beim ersten Start findet man dort nur den Eintrag „lossless“. Also klickt man auf „ADD“ und öffnet dadurch den Metall-Editor. Mit weiteren Klicks auf „Select metal from library“ und „Global library“ im folgenden Menü erscheint die Metall-Auswahlliste. Darin wird „Copper“ markiert und „OK“ holt entsprechend **Bild 12** alle Kupferdaten auf den Schirm. Bitte hier dafür sorgen, dass die Dicke auf 0,035 mm eingestellt ist! Mit OK geht

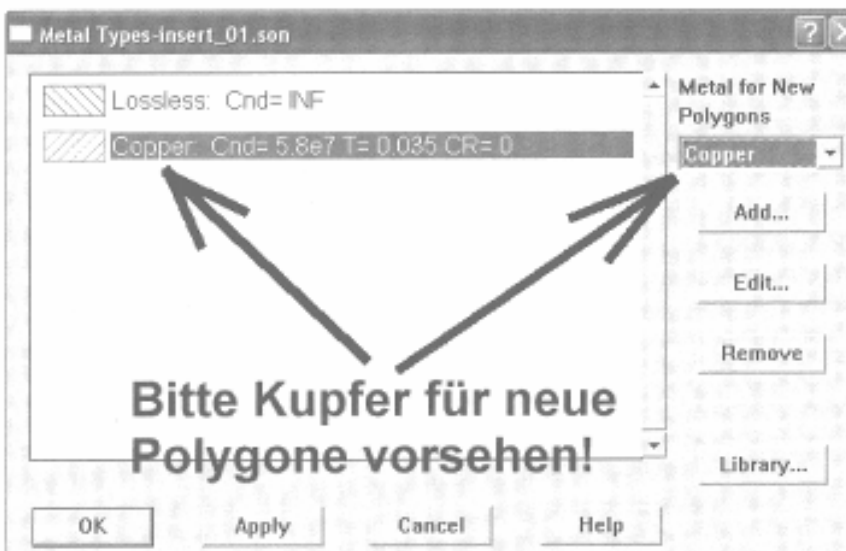


**Bild 12:**  
Nach dem Editieren  
der Kupferdaten  
unter „Metal Types“  
muss die Schicht-  
dicke korrekt auf  
0,035 mm eingestellt  
werden

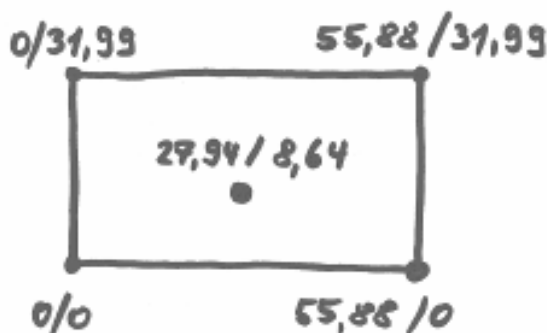
es wieder weiter und **Bild 13** zeigt das Schlussmenü. Darin wird gleich „Metal for new polygons“ auf „Copper“ umgestellt und mit OK alles abgeschlossen. Damit sind alle Grundeinstellungen erledigt und es kann mit der Antenne losgehen!

### 3.3. Antennenentwurf mit SONNET-Lite

Man sollte es sich zur Gewohnheit machen, die zu untersuchende Antenne zuerst einmal zu skizzieren und alle Maße in Form von Ko-



**Bild 13:**  
So muss es richtig  
aussehen - bitte die  
Umstellung auf Kup-  
fer beim Zeichnen  
neuer Strukturen  
nicht vergessen



**Bild 14:** Dazu sollte man sich nicht zu fein sein: Es ist sinnvoll immer zuerst eine einfache Skizze mit den Maßangaben in Koordinatenform anzufertigen!

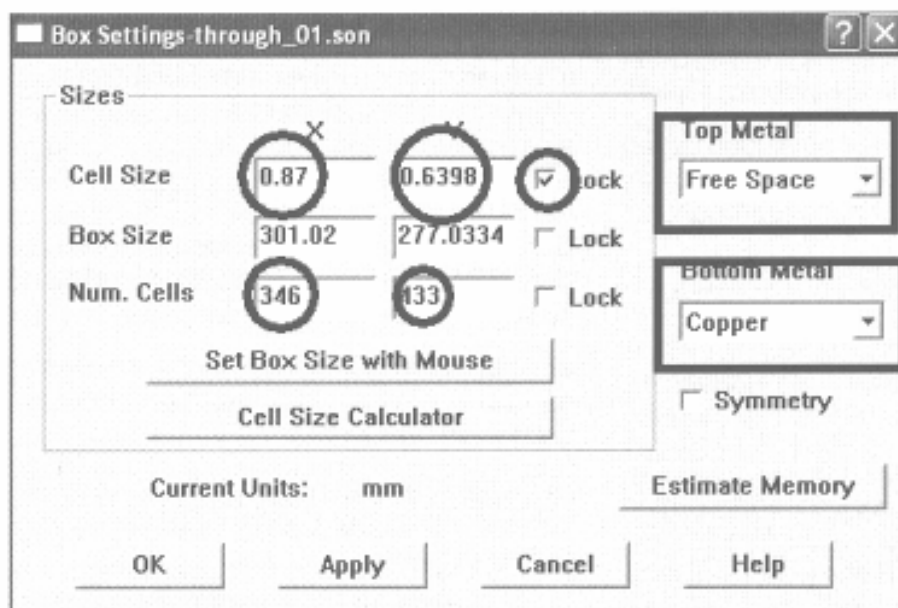
ordinaten - bezogen auf die linke untere Ecke der Antenne - anzugeben (**Bild 14**), denn damit erleichtert man sich die Zeichenarbeit im SONNET-Editor ungemein. Die Länge (31,99 mm) und Breite (55,88 mm) holt man sich aus Kapitel 3.1., ebenso den Abstand des

Speisepunkts auf der senkrechten Symmetrieachse mit 8,64 mm von der unteren Patchkante.

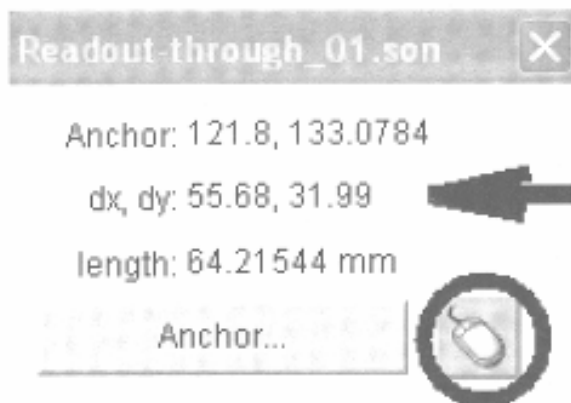
Jetzt kommt die wichtigste Arbeit.

Die geplante Antennenstruktur muss man in kleine Zellen aufteilen UND immer wieder prüfen, ob der dadurch für die Simulation belegte Arbeitsspeicher noch nicht größer als 16 Megabyte geworden ist.

Die besten Ergebnisse erhält man erfahrungsgemäß, wenn Länge und Breite der kleinsten Zelle (Dx und Dy) ca. 1% bis 2% der Wellenlänge betragen. Die Schmerzgrenze für rasch ansteigende Simulations- Ungenauigkeiten liegt nach oben bei ca. 5% und nach unten bei etwa 0,4%. Außerdem schlägt das Manual vor, von den Antennenkanten bis zur Gehäusewand (...SONNET simuliert alles in einer rechteckigen „Box“, also einer Metallkiste...) mindestens eine Wellenlänge Abstand zu halten, um störende Einflüsse durch die Boxwände klein zu halten. Aber: je größer, desto besser - doch leider setzt da der auf 16 Megabyte begrenzte Arbeitsspeicher die Grenze.



**Bild 15:** Ganz wichtig: die richtigen „Box-Settings“ mit den Zellgrößen und der Zellenanzahl in x- und y-Richtung. Bitte beim „Top Metal“ auf „Free Space“ und beim Box-Boden auf „Kupfer“ einstellen!



**Bild 16: Die wichtigste Zeichenhilfe ist das Mausymbol zum Setzen des Nullpunktes (siehe Text)**

Oberhalb der Platine soll sich ein Luftpolster mit der Dicke von einer halben Wellenlänge befinden, den Deckel der Box bildet der freie Raum („free space“), bei dem die Abstrahlung beginnt. Aber das wurde ja bereits bei der Einstellung der „Dielectric Layers“ berücksichtigt.

Am einfachsten ist die Festlegung von  $\Delta y$  bei der Patchlänge. Sie entspricht etwa der halben Wellenlänge ( $= 50\%$  von  $\lambda$ ) und deshalb braucht man diese Länge nur durch 50 zu teilen, um auf 1% der Wellenlänge (im Platinenmaterial, nicht in Luft!) zu kommen:

$$\Delta y = 31,99 \text{ mm} / 50 = 0,6398 \text{ mm}$$

Addiert man zur Patchlänge an beiden Seiten noch je die Luft-Wellenlänge mit 122,45 mm, kann man folgende Rechnung aufmachen:

$$122,45 \text{ mm} + 122,45 \text{ mm} + 31,99 \text{ mm} = 276,89 \text{ mm.}$$

Und dann:

$$276,89 \text{ mm} / 0,6398 \text{ mm} = 433 \text{ Zellen in y-Richtung.}$$

Bei der Patchbreite kann man natürlich dieselbe Zellengröße für  $\Delta x$  verwenden, man sollte hier aber gleich weiterdenken: die nächste Antenne in der Reihe wird das Exemplar mit dem „inserted feed“ sein, bei dem

vom Platinenrand bis zum korrekten Anpassungspunkt innerhalb der Patchfläche eine  $50 \Omega$ -Streifenleitung läuft. Ihre erforderliche Breite bestimmt man mit einem passenden „Microstrip-Calculator“ oder einem MikrowellenCAD-Programm (PUFF, ANSOFT-Designer SV, Appcad usw.) für die vorliegenden Platinendaten. Der so ermittelte Breitenwert von 3,48 mm stimmt bei allen Programmen exakt überein, da kein Gehäuse mit Deckel verwendet wird und z.B. PUFF bzw. Appcad immer ohne diesen Deckel simulieren.

Folglich orientiert man sich an der Streifenleitungsbreite, um beide Antennensimulationen möglichst ähnlich zu machen und herauszubekommen, welche Auswirkungen die Unterschiede der Antennenstrukturen auf die Resonanzfrequenz und die Anpassung haben.

Also teilt man einfach den Breitenwert von 3,48 mm in vier gleiche Teile auf und erhält damit

$$\Delta x = 3,48 \text{ mm} / 4 = 0,87 \text{ mm.}$$

Wenn man nachrechnet, sind das etwa 1,36% der Platinen-Wellenlänge und damit ist für die SONNET-Simulation alles im grünen Bereich. Bei der Bestimmung der Zellenzahl in x-Richtung geht man wie folgt vor:

Man beginnt z.B. mit einer Patchbreite von 55,88 mm. Auf jeder Seite addiert man eine Wellenlänge von 122,45 mm und bekommt:

$$122,45 \text{ mm} + 122,45 \text{ mm} + 55,88 \text{ mm} = 300,78 \text{ mm}$$

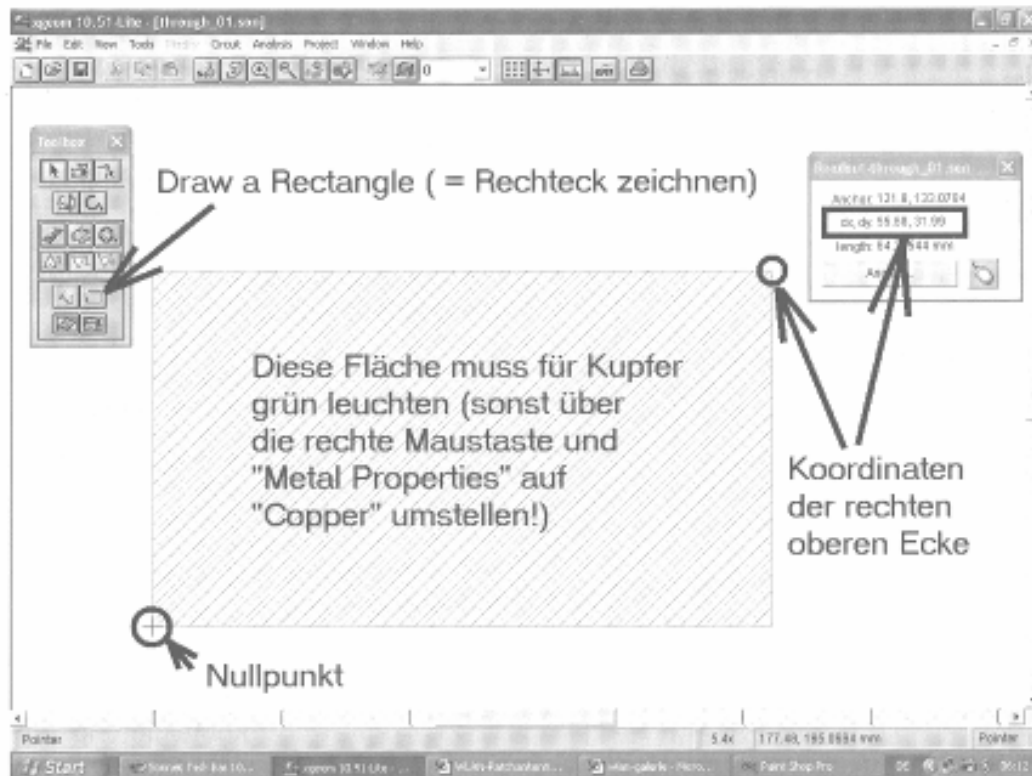
Das ergibt:  $300,78 \text{ mm} / 0,87 \text{ mm} = 346$  Zellen in x-Richtung.

Die zugehörigen „Box“-Einstellungen aus dem SONNET-Circuit-Menü sind in **Bild 15** zu sehen. Bitte darauf achten, dass

a) in der Zeile „Cell Size“ nach dem Eintrag von  $\Delta x$  und  $\Delta y$  ein Häkchen bei „Lock“ gesetzt wird, bevor

b) in der Zeile „Num. Cells“ die korrekte Anzahl von Zellen bei x und y eingetragen wird. Außerdem wird

c) als „Top Metal“ natürlich „Free Space“ und



**Bild 17:** Hier ist nochmals alles Wichtige zum Zeichnen des Patches zusammengefasst

e) als „Bottom Metal“ schließlich „Copper“ verwendet.

Noch eine Bemerkung:

Falls die gewählte Zellgröße  $\Delta x = 0,87$  mm nachher Probleme macht, weil man damit die Patchbreite von 55,88 mm nicht exakt hinbekommt, ist das nicht so tragisch: eine Patch-Breitenänderung um 1 mm hin oder her wirkt sich nur wenig aus, während bei der Speiseleitungsbreite eine Abweichung von 0,1 mm den Wellenwiderstand schon deutlich verändert!

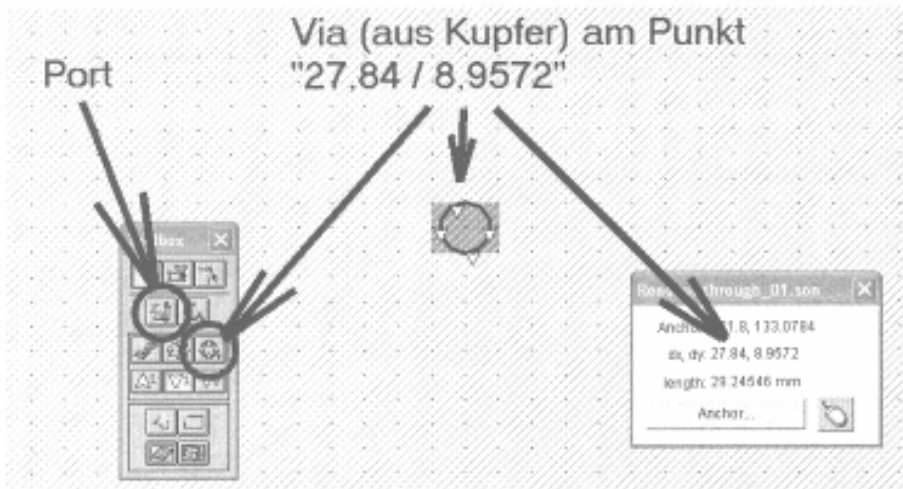
Jetzt kann es endlich mit dem Zeichnen der Antenne losgehen. Zuvor holt man sich jedoch aus dem „View“-Menü das „Measuring Tool“ dauerhaft auf dem Bildschirm und klickt darin auf das Maussymbol (**Bild 16**). Sofort hängt ein kleines Kreuz am Cursor, das man etwa in der Mitte der Zeichenfläche absetzen kann; es bildet ab jetzt den Null-

punkt und damit die linke untere Ecke des vorgesehenen Patches.

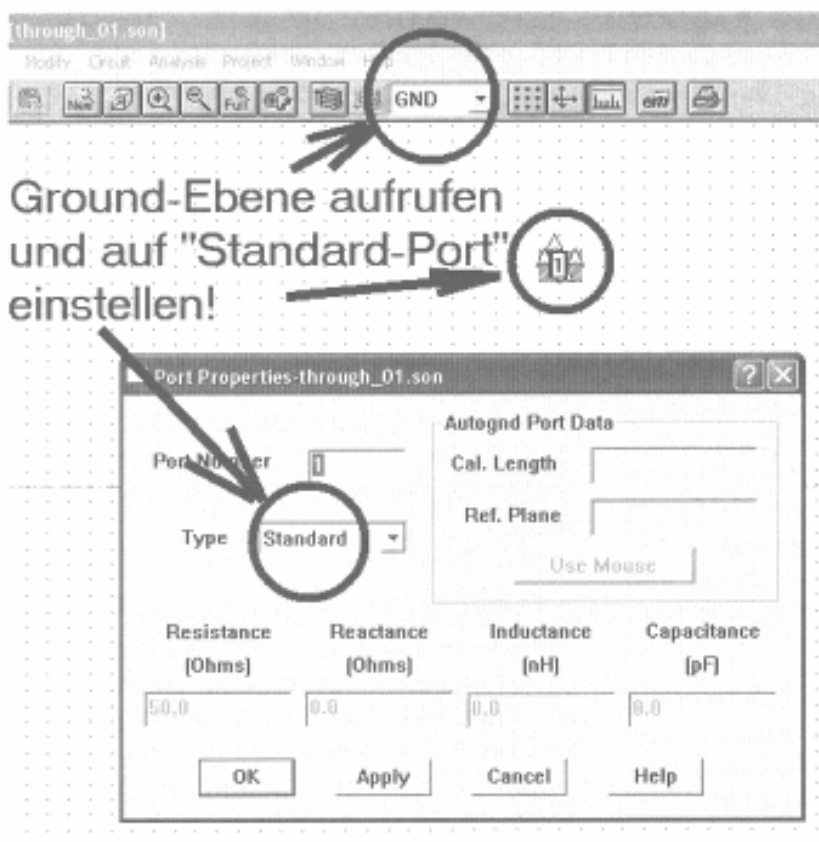
Klickt man nun „Draw a Rectangle“ und anschließend den durch das Kreuz markierten Nullpunkt an, so kann man sehr schön durch Ziehen mit der Maus das Patch zeichnen. Im „Measuring Tool“ beobachtet man dabei die beiden Größen  $\Delta x$  und  $\Delta y$  und hört bei den Werten

$$\Delta x = 55,68 \text{ mm} \quad \text{bzw.} \quad \Delta y = 31,99 \text{ mm}$$

auf (dazu darf man sich ruhig die Zeichenfläche vorher etwas zoomen). Die Patchfläche sollte nun grün leuchten, was soviel bedeutet wie Kupfer als Metallisierung. Hat man vergessen, diese Metallisierung unter „Metal Types“ und „Material for new Polygons“ umzustellen, reicht ein rechter Mausklick auf die Patchfläche: unter „Metal Properties“ kann man das nachholen. Diese Prozedur ist in **Bild 17** dargestellt.



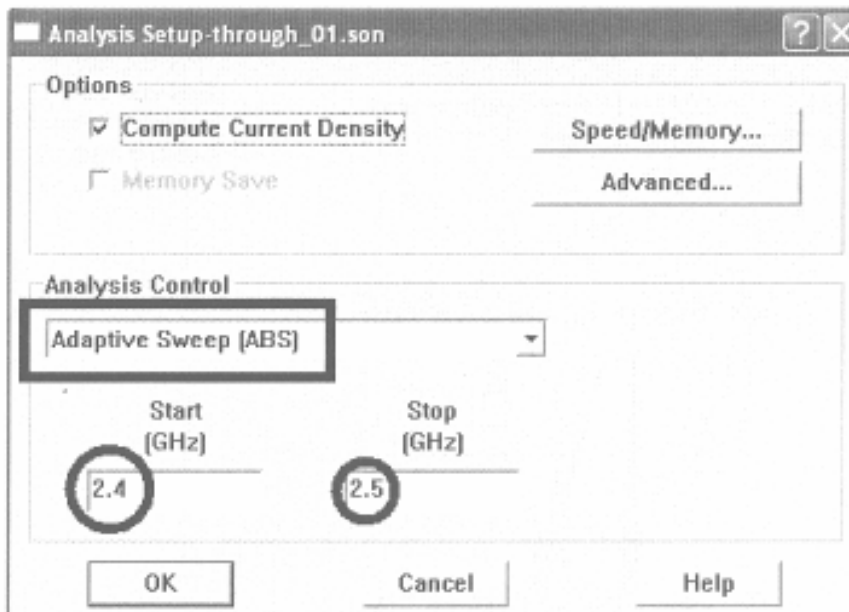
**Bild 18:** Erst das „Via“ und hinterher den Port am richtigen Punkt in der Patchfläche absetzen. Stimmt das auch mit „Kupfer“ beim „Via“?



**Bild 19:** Erst auf Ebene Null (Ground) umschalten und dann die Einstellung auf „Standardport“ kontrollieren

Anschließend setzt man erst ein „Via“ (= Durchkontaktierung / Innendurchmesser = 1,27 mm / als Vieleck zusammengesetzt aus 10 Segmenten) am Punkt (27,84 mm / 8,9572 mm). Das „Via“ sollte aus Kupfer bestehen und muss nach dem Platzieren in der selben grünen Farbe wie das Patch leuchten.

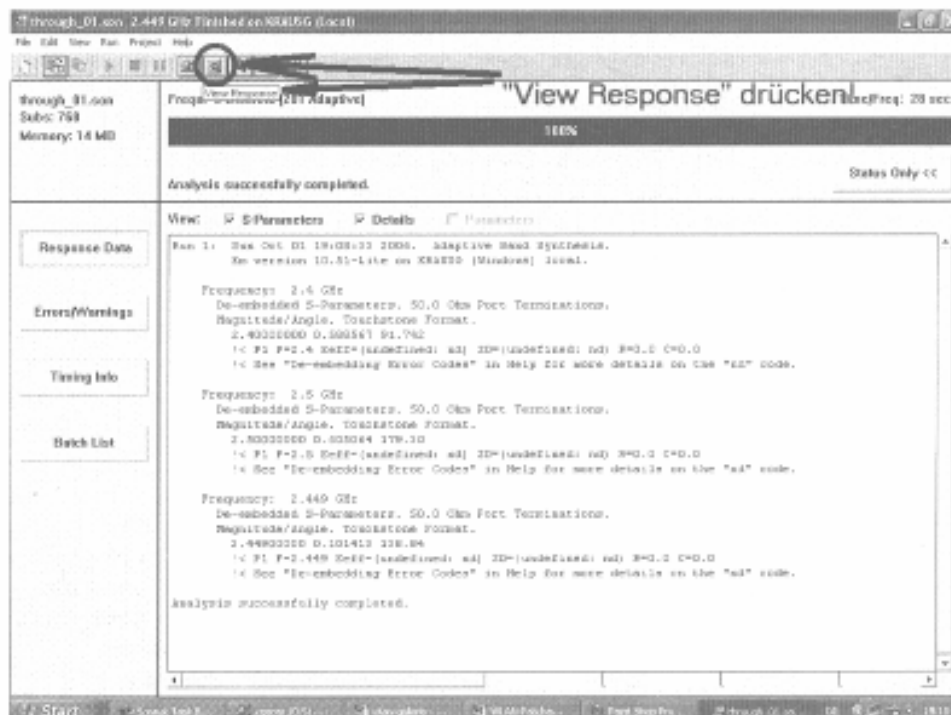
Manchmal ist das nicht der Fall und man muss es markieren, mit der rechten Maustaste daraufklicken und im „Property Menu“ auf „Copper“ umstellen (**Bild 18**). Zum Abschluss holt man noch einen Port, setzt ihn genau im Zentrum des „Vias“ ab, schaltet auf die „Ground-Ebene“ um, markiert dort den Port durch doppeltes Anklicken und wählt die Einstellung „Standard“. Damit hat man die komplette Zeichenarbeit erledigt (**Bild 19**)!



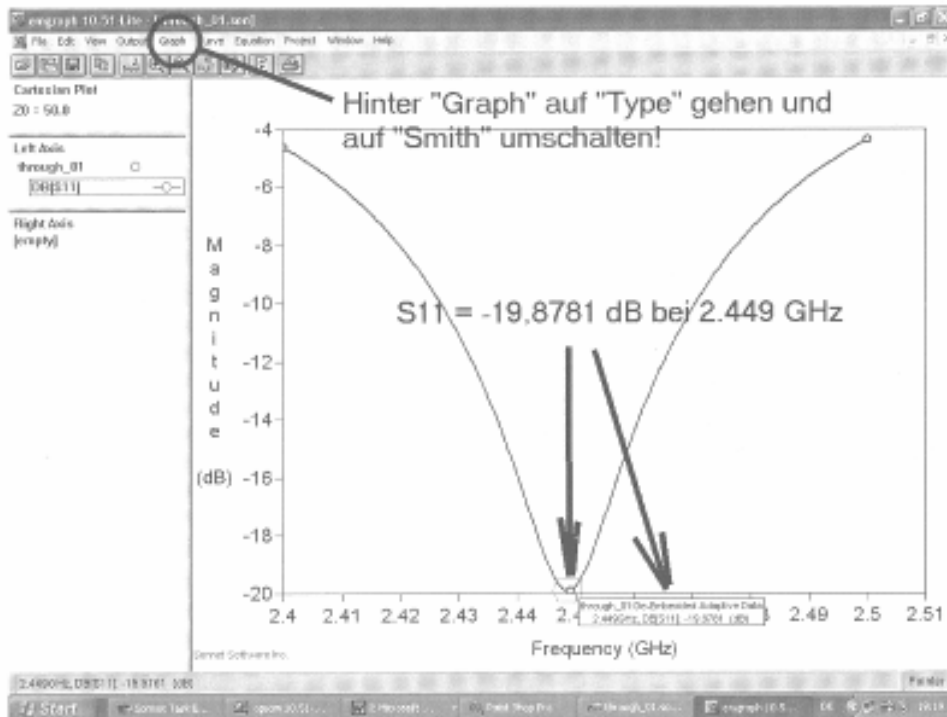
**Bild 20:**  
Die Sweepeinstellung ist selbsterklärend und damit eine Kleinigkeit

Jetzt geht alles ganz schnell: hinter dem Menü „Analysis“ findet sich das zugehörige Setup und **Bild 20** zeigt alle erforderlichen Einstellungen: unter Benutzung des „Adapti-

ve Bandsweeps“ soll der Frequenzbereich von 2,4 bis 2,5 GHz simuliert werden. Hinterher ist nur noch bei „Project“ ein Klick auf „Analyze“ nötig und dann sollte nach ent-



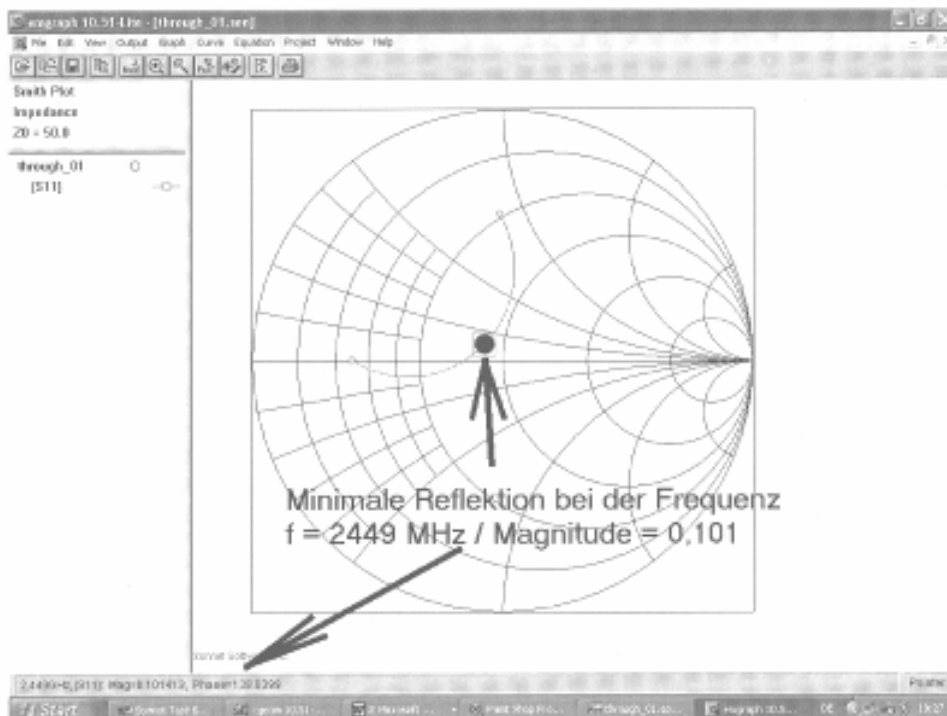
**Bild 21:**  
Je nach Rechertyp kann das eine Weile dauern, bis dieser Bildschirm erscheint. Dann aber schnell auf „Response“ klicken!



**Bild 22:**  
Das Ergebnis:  
fast wie von  
„patch16“ vor-  
ausgesagt!

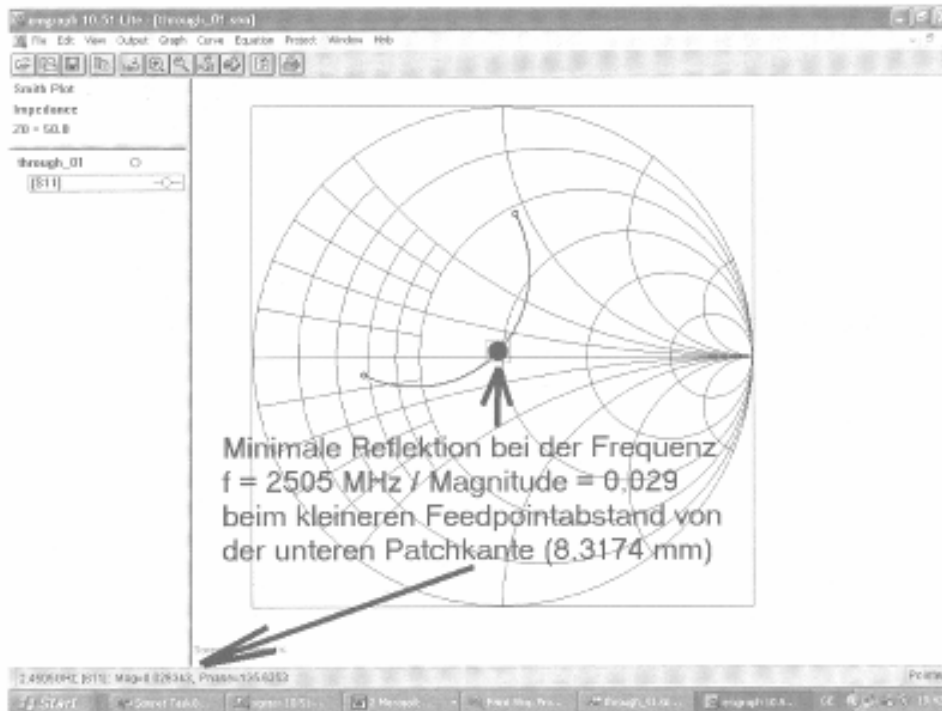
sprechender Rechenzeit **Bild 21** auftauchen (... sofern man das Projekt korrekt gespeichert hatte...). Die passende Taste für die Er-

gebnisausgabe ist dort markiert und **Bild 22** sagt, was das Programm von diesem Antennenentwurf hält. Die Resonanzfrequenz mit



**Bild 23:**  
Im Smithchart  
sieht man ein-  
fach noch mehr  
wichtige  
Details  
(siehe Text)





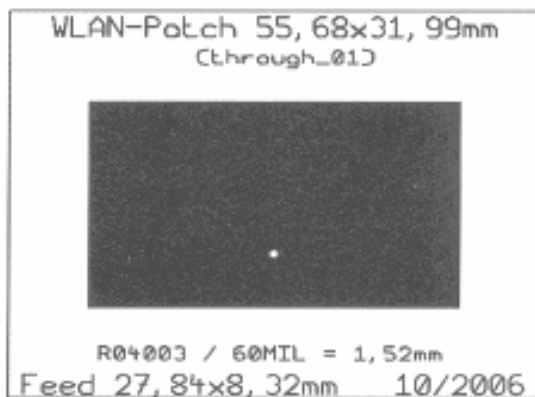
**Bild 24:**  
 Den Speise-  
 punkt noch  
 um einen  
 Schritt zum  
 unteren Rand  
 hin verschie-  
 ben und  
 schon ist das  
 Ergebnis fast  
 ideal!

2449 MHz könnte nicht besser getroffen sein, doch um den S11-Wert muss man sich noch etwas genauer kümmern. Aus Bild 22 ist ebenfalls zu entnehmen, wie man auf die Smithchart-Darstellung umschaltet und dieses Diagramm ist natürlich wesentlich interessanter (**Bild 23**): zu S11 von ca. -20 dB gehört natürlich ein Reflektionsfaktor von etwa 0,1, ABER: man sieht, dass der Anpassungspunkt zu weit von der unteren Patchkante entfernt ist bzw. zu nahe an der Patchmitte sitzt, denn die „Schleife“ der S11-Kurve umschließt nicht die Mitte des Smithcharts und das bedeutet Impedanzwerte unter 50 Ohm! Also wiederholt man diesen Vorgang nochmals, indem man in den Zeicheneditor zurückwechselt, das „Via“ markiert und es mit der Maus auf den nächstmöglichen kleineren Abstand zur unteren Patchkante zieht (genauer Wert: 8,3174 mm). Dann wird die Simulation wiederholt und man sieht voll Freude, dass man damit auf S11 = -30 dB kommt. Das ist doch schon recht nahe am perfekten Anpassungspunkt mit 50 Ohm-Eingangswiderstand (**Bild 24**) und die

leicht erhöhte Resonanzfrequenz von 2505 MHz kann man dabei in Kauf nehmen. Leider lässt sich der Speisepunkt immer nur in Schritten von  $\Delta y = 0,6398 \text{ mm}$  verschieben (Grund: Siehe oben wegen der Schallmauer von 16 MB beim belegbaren Hauptspeicher) und das ist einfach zu grob für eine feinere Annäherung an das Ideal. Also begnügt man sich mit diesem Simulationsergebnis, entwirft eine Platine mit den Außenmaßen 80 mm x 60 mm, bringt darauf das Patch mit seinem Speisepunkt an und lässt sie anfertigen (**Bild 25**, siehe umseitig!).

Aufgrund verschiedener Ursachen (Platinenaußenmaße viel kleiner als bei der Simulation angenommen, Fertigungsungenauigkeiten und Kantenunterätzungen, Einfluss des Speise-Lötpunktes in der Patchfläche, Streuung der Werkstoffdaten usw.) wird das Messergebnis des Networkanalyzers sicherlich von der Simulation abweichen. Dann folgt eben die zweite Platine mit den nötigen Änderungen!

...wird fortgesetzt!



**Bild 25: Vorstufe zur Stunde der Wahrheit: der fertige Platinenentwurf mit Target3001. Bitte immer ausreichend Informationen auf der Platine mitliefern, damit diese sicher identifizierbar ist**

## X.

### Literatur zu Teil 1:

[1]: Gunthard Kraus, „Praxisprojekt: Patchantenne für 5,8 GHz“.

UKW-Berichte 3/2003, Seite 139-150

[2]: Gunthard Kraus, „Das interessante Programm. Heute: SonnetLite 9.51“.

UKW-Berichte 1/2004, Seite 11-29

[3]: Gunthard Kraus, „Moderner Entwurf von Patchantennen“, Teil 1 und Teil 2.

UKW-Berichte 3/2000, Seite 139 -160 und

UKW-Berichte 4/2000, Seite 221-236

ANZEIGE

## Mikrowellen-CAD-Software

### PUFF Version 2.1

- weiterhin lieferbar! -

DOS-Software auf Diskette  
engl. Original-Handbuch

Art.Nr. 03407 € 22,-



 **UKW**Berichte  
Telecommunications

UKW-Berichte, Eberhard L. Smolka  
Jahnstr. 7, D-91083 Baiersdorf  
Tel. 09133-77980, Fax 09133-779833  
Email: [info@ukwberichte.com](mailto:info@ukwberichte.com)  
[www.ukw-berichte.de](http://www.ukw-berichte.de)