

# Entwicklung einer zirkular polarisierten Patchantenne für 2,45 GHz mit Sonnet Lite

von Gunthard Kraus, DG8GB

## 1. Aufgabenstellung

Das 2,45 GHz-Band ist nicht nur durch seine WLAN-Belegung bekannt, sondern auch (bei kleinen Sendeleistungen) für andere Zwecke freigegeben. Deshalb kam ein Bekannter -- seines Zeichens begeisterter Modellflieger -- und jammerte über die unsichere und schwankende 2,45GHz-Verbindung zu seinem Flugzeug, die schon mehrfach zu Ärger, zu Problemen und sogar zu Verlustängsten geführt habe. Eine genaue Prüfung zeigte, dass der (sündteure) Fernsteuersender nur mit einer einfachen Stabantenne samt SMA-Anschluss ausgerüstet ist. Obwohl etwas schwenkbar, zeigt die Antenne mit ihrer Spitze leider oft genau dorthin, wo sich gerade das Flugzeug befindet und für einen passionierten HF-Entwickler ist das natürlich ein Unding. So entstand die Idee, eine zirkular polarisierte Patchantenne mit SMA-Anschluss für den Frequenzbereich von 2420 bis 2480 MHz zu entwickeln, die über ein kurzes Stück Semi-Rigid-Kabel mit dem Fernsteuersender verbunden ist und deren Hauptstrahlrichtung genau in Richtung des Flugzeugs zeigt. Damit ist eine stabilere Funkverbindung möglich.

## 2. Grundlagen der Patchantennen

Sie bestehen aus einem Stück Leiterplattenmaterial (= „PCB“) das beidseitig mit Kupfer kaschiert ist. Die Unterseite bildet eine durchgehende Massefläche und auf der Oberseite der Platine finden wir in der einfachsten Form ein Quadrat oder Rechteck aus Kupfer (= „Patch“). Dabei muss die Platine für eine korrekte Arbeitsweise deutlich größer sein als der Patch (Richtwert für den Überstand: wenigstens 3... 5 mal Platinendicke -- und noch mehr ist noch besser.

Dieser Patch wird nun so ausgelegt, dass er eine **elektrische Länge von etwa  $\lambda/2$**  aufweist. Etwas genauer ist:

$$\text{Strahlerlänge} = 0,49 \times (\lambda / 2)$$

und man betrachtet ihn als leer **laufende Microstrip-Leitung**.

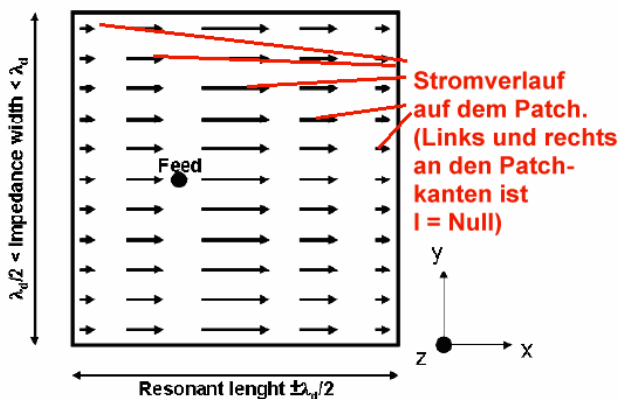
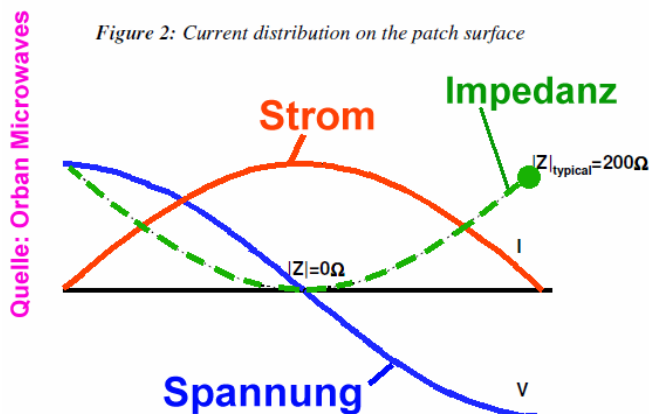


Figure 2: Current distribution on the patch surface



auch Null. Also gibt es irgendwo zwischen der Mitte und der Patchkante einen Punkt, bei dem der Eingangswiderstand genau  $50\Omega$  betragen wird -- das ist der markierte „**Feedpoint**“.

Speist man diese Leitung am Eingang mit einem Sinussignal, dessen Frequenz genau der Resonanzfrequenz entspricht, dann erhält man die nebenstehende Strom- und Spannungsverteilung (der **Speisepunkt** liegt dabei **exakt auf der Symmetrie-Achse** des Patches).

An den Leitungsenden ist die Spannung gleich groß, aber gegenphasig ( $\lambda/2$  bedeutet nämlich 180 Grad Phasenverschiebung).

Genau in Patchmitte ist die Spannung Null.

Beim Strom ist es umgekehrt: bei einer rein verlustlosen Leitung ist er am Leitungsanfang und am Leitungsende Null, hat aber in Leitungsmitte sein Maximum (Siehe Bild).

Zur Repräsentation der Abstrahlung müssen wir uns am Leitungsanfang sowie am Leitungsende noch je einen gleich großen Strahlungswiderstand denken (im Diagramm ist ein Gesamtwiderstand von typisch  $200\Omega$  eingetragen. Also sind es an jeder Patchkante  $400\Omega$ , denn die beiden Lastwiderstände sind von der Leistungsaufnahme her parallel zu denken).

Genau in Patchmitte geht die Spannung durch Null und damit ist dort der Eingangswiderstand

Die **Patchbreite** (= Leitungsbreite) beeinflusst bei dieser Bauweise die Eigenresonanzfrequenz nur wenig. Man geht in der Praxis dabei immer vom quadratischen Patch aus und dann gilt: wird sie erhöht (= der Patch breiter als länger gemacht), dann steigt die Bandbreite und der Strahlungswiderstand wird kleiner.

Der Entwurf solcher Antennen erfolgt in der Praxis stets mit passender Software. Lange Zeit wurde dafür das DOS – Programm „patch16.zip“ eingesetzt, das in Form eines Kochrezeptes für rechteckige und quadratische Patchantennen aufgebaut ist (Fundstelle: Internet).

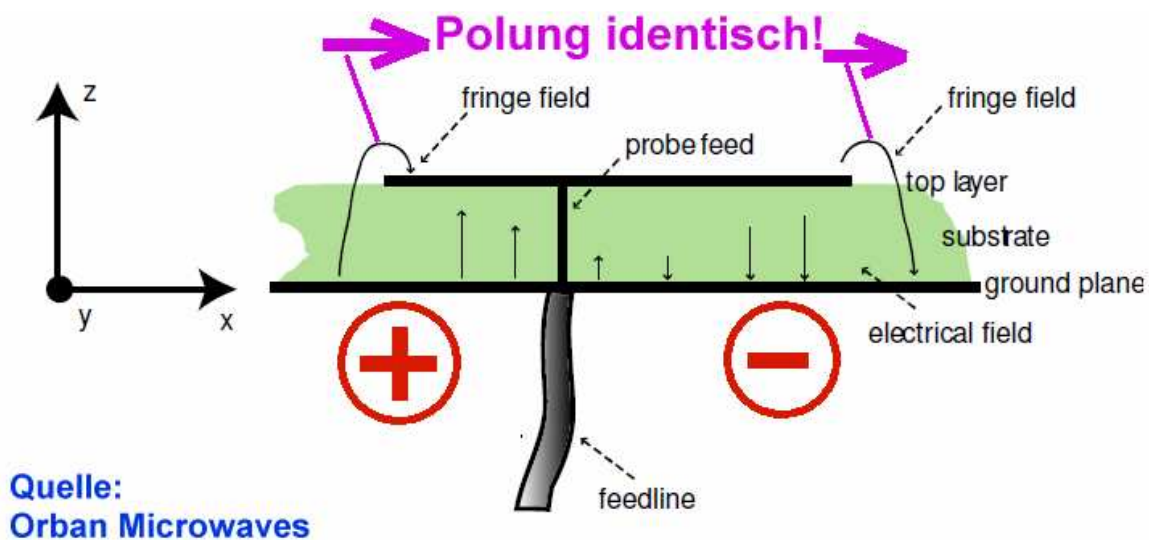
Moderner Stand des Entwurfs ist dagegen der Einsatz eines „EM-Simulators für Flächenstrukturen“ und der bekannteste Vertreter ist hier „SONNET“. Für den Privatanwender gibt es dazu im Internet eine äußerst leistungsfähige und kostenlose LITE-Version dieses Programms, die sich weltweiter Beliebtheit erfreut.

Aus der Homepage des Autors ([www.elektronikschule.de/~krausg](http://www.elektronikschule.de/~krausg)) kann dazu ein Sonnet-Tutorial in Deutsch oder Englisch herunter geladen werden, in dem der komplette praktische Entwurf einer Patchantenne für 5,8GHz im Detail beschrieben ist.

Eine Frage wurde allerdings bisher nicht beantwortet:

## Weshalb und wie strahlt ein solcher Kupferfleck überhaupt?

Und dazu brauchen wir das nächste Bild:



Quelle:  
Orban Microwaves

Figure 1: Cross section of a patch antenna in its basic form

Wer genau hinschaut, der sieht die an jeder Patchkante überstehenden elektrischen Streufelder (= fringe fields) und da steckt die Lösung! An der linken und rechten Patchkante ist die Spannung ja gegenphasig (Siehe das Bild auf der vorhergehenden Seite), aber interessanterweise **zeigen dort die Feldlinien auf beiden Seiten in dieselbe Richtung und sind deshalb gleichphasig!**

## Damit wirken diese beiden Patchkanten mit ihren Streufeldern als zwei parallel geschaltete „Schlitzstrahler“

(...ein Schlitzstrahler ist der „Komplementärtyp“ zu einem Antennenstab. Bei dem haben wir einen Draht und als Umgebung die Luft. Beim Schlitzstrahler ist das genau vertauscht: der Antennenstab wird durch Luft ersetzt und anstelle der umgebenden Luft haben wir nun Kupferflächen. Dadurch vertauschen sich auch die Richtungen von elektrischem und magnetischem Feld).

Damit ist die Frage der Polarisation des ausgestrahlten elektrischen Feldes gleich mit beantwortet, denn die entspricht natürlich exakt den beiden violetten Pfeilen im obigen Bild. Und wenn die Metallisierung der Platinenunterseite genügend gegenüber dem Patch übersteht, dann wirkt sie als Abschirmung und verhindert die Abstrahlung „nach rückwärts“ (...im obigen Bild wird die Antenne also nur nach oben strahlen). Das Richtdiagramm einer einfachen Dipolantenne ist die berühmte „liegende Acht“. Bei der Patchantenne fehlt dann im Idealfall eine Hälfte dieser Acht und man erhält einen einfachen Kreis ohne Abstrahlung nach rückwärts.

### 3. Zirkular polarisierte Patchantennen

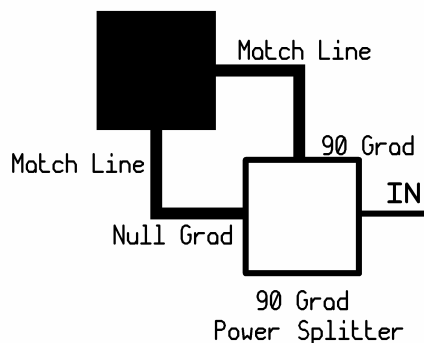
#### 3.1. Zirkularpolarisation: was steckt dahinter?

Bei der Zirkularpolarisation wird grundsätzlich mit zwei Strahlern gearbeitet, deren

- abgestrahlte Einzelfelder 90 Grad räumlich gegeneinander verdreht sind.
- Zusätzlich werden die beiden Antennen mit Signalen gespeist, die 90 Grad Phasenunterschied aufweisen.

Das hat verblüffende Folgen, denn nun rotiert die Polarisation des abgestrahlten EM-Feldes -- wenn man sich vor die Antenne stellt! -- pausenlos im Kreis wie ein Propeller. Da zusätzlich die Felder mit Lichtgeschwindigkeit abgestrahlt werden und wegwandern, beschreibt die Spitze des Strahlungsvektors eine Wendel (...oder noch anschaulicher: einen Korkenzieher). Beim Empfang kann man nun jederzeit eine linear polarisierte Antenne verwenden, denn egal, wie man sie ausrichtet: immer wird man wegen dieser Propellerbewegung des Strahlungsvektors dieselbe Antennenspannung bekommen. Zweimal pro Umdrehung ist dieser Vektor dann exakt parallel zur linear polarisierten Empfangsantenne ausgerichtet und ergibt maximale Antennenspannungsamplitude (...natürlich mit entgegen gesetztem Vorzeichen). Und ebenso steht der Vektor zweimal pro Umdrehung senkrecht zur optimalen Ausrichtung der Antenne und erzeugt kein Antennensignal. Die Kehrseite ist natürlich, dass wir jetzt nur noch eine der beiden abgestrahlten EM-Feldkomponenten empfangen können und folglich gegenüber einer ebenfalls (...mit dem richtigen Drehsinn...) zirkular polarisierten Empfangsantenne 3 dB weniger Antennensignal bekommen werden.

#### 3.2. Erzeugung der Zirkularpolarisation bei einer Patchantenne



Da haben wir es grundsätzlich gar nicht so schwer, denn die beiden räumlich um 90 Grad gegeneinander verdrehten Strahler stehen bereits durch die „Länge“ bzw. „Breite“ des Patches zur Verfügung. Sobald wir uns zwei um 90 Grad gegeneinander phasenverschobene Speisesignale beschaffen (sei es durch einen 90

Grad – Power Splitter oder eine zusätzlich eingefügte Lamda-Viertel-Leitung), ist das Problem schon gelöst.

**Es gibt aber noch einen wesentlich einfacheren, aber hoch interessanten Weg:**

Man verpasst den beiden Strahlern (= Patchlänge und Patchbreite) durch unterschiedliche Abmessungen leicht gegeneinander verschobene Resonanzfrequenzen. Da jeder Strahler in der Ersatzschaltung durch einen Parallelschwingkreis dargestellt werden kann, erhält man bei Speisung mit der Mittenfrequenz nun einen interessanten Effekt:

**Der kürzere Strahler (z. B. durch die Patchlänge gebildet) wird unterhalb seiner Resonanzfrequenz betrieben und benimmt sich wie eine Induktivität. Sein aufgenommener Strom eilt deshalb gegen die Speisespannung nach. Der andere, längere Strahler (in diesem Fall die Patchbreite) arbeitet dagegen oberhalb seiner Resonanzfrequenz und zeigt deshalb kapazitives Verhalten mit voreilendem Strom.**

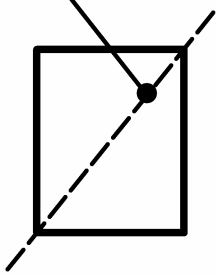
**Beide Strahler werden von derselben Spannung gespeist und deshalb ergibt sich innerhalb einer Bandbreite von 1....3% der Resonanzfrequenz etwa der gewünschte 90 Grad-Phasenunterschied zwischen den beiden Strahlerströmen (die für die Abstrahlungen zuständig sind)!**

Natürlich muss nun der **Speisepunkt richtig gewählt werden**, damit beide Strahlungsrichtungen angeregt werden können. Meist bewegt man sich dabei sogar innerhalb der Patchfläche (z. B. auf der **Diagonale**) und kann damit einen weiteren Punkt erledigen:

**Genau in Patchmitte ist die Spannung gerade Null (bei maximalem Strom) und deshalb haben wir dort eine Impedanz von Null Ohm. An der Patch-Außenkante messen wir dagegen den Strahlungswiderstand, der immer über 100 aufweist. Folglich gibt es irgendwo dazwischen einen Speisepunkt mit exakt 50Ω Eingangswiderstand.**

In der Praxis findet man meist eine dieser drei Möglichkeiten:

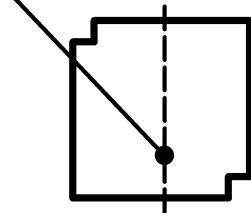
**Speisepunkt**



A)  
Länge und Breite haben unterschiedliche Abmessungen, der Speisepunkt liegt auf der Diagonale.

Nachteil:  
Sehr empfindlich gegen Toleranzen. Streuungen bei Länge oder Breite oder der Lage des Speisepunktes in der Größenordnung von „Hundertstel Millimetern“ wirken sich schon sehr stark aus.

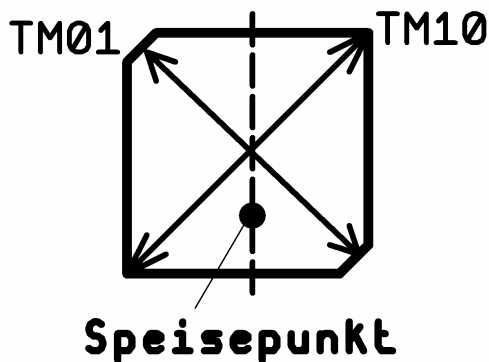
**Speisepunkt**



B)  
Quadratischer Patch mit ausgestanzten Ecken und dem Speisepunkt auf der Mittellinie.

Die „Größe der ausgestanzten Ecken“ bestimmt den Unterschied der beiden Resonanzfrequenzen (...und wirkt damit wie unterschiedliche Kopplung bei einem Zweikreis-Bandfilter). Nun sind die Patch-Diagonalen unterschiedlich lang und bilden die beiden Strahler.

Leicht zu handhabende Version beim Entwurf.



C)  
Quadratischer Patch mit Ecken, die unter 45 Grad abgeschrägt sind.

Man sieht, dass (wie bei B) die unterschiedlich langen Diagonalen für die Zirkularpolarisation sorgen. So entsteht ein TM<sub>01</sub> und ein TM<sub>10</sub> – Modus bei den einzelnen Wellen. Gibt dasselbe Verhalten wie B), ist aber noch etwas gutmütiger und fehlertoleranter.

**Dies ist die am häufigsten verwendete Variante und einen solchen Patch wollen wir realisieren.**

---

## 4. Antennenentwurf mit Sonnet Lite

(Vorbemerkung: Wir wollen uns den Entwurfsweg an der **endgültigen und in eine Platine umgesetzte Antennenversion ansehen**, denn da gehen natürlich unzählige Simulationen voraus, bis man sich an das Optimum herantastet hat.... Und die sollten wir überspringen).

Doch zunächst etwas zu Sonnet:

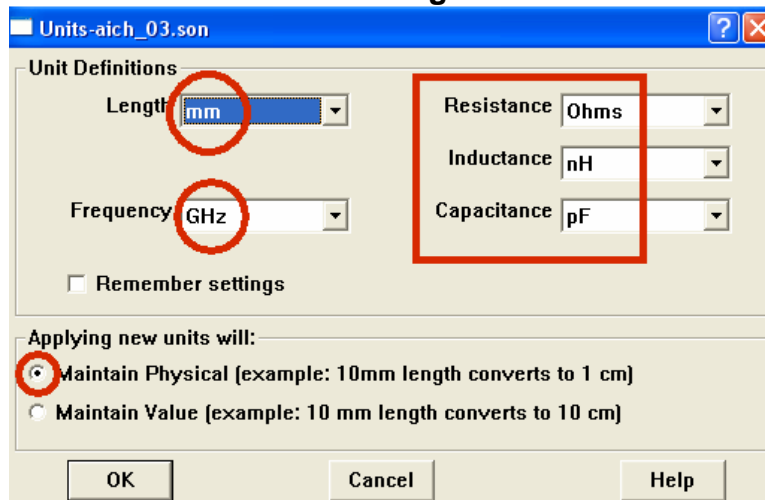
SONNET ist eine wunderbare Sache, nämlich ein EM-Simulator (nach der Momenten-Methode) für alle denkbaren planaren = flächenhaften Strukturen. Das sind vor allem Microstrip-, Stripline- oder Coplanar-Schaltungen, wobei von Kopplern über Transformationsleitungen, Filtern, Gaps und Stubs bis hin zu Patchantennen usw. alles untersucht werden kann. Wer allerdings von der SPICE-Simulation oder der S-Parameter-Simulation herkommt, der hat so seine Probleme beim Einstieg, denn bei einer EM-Simulation ist alles, aber auch alles anders. Da muss zuerst die zu untersuchende Struktur vom Anwender in lauter kleine „Zellen“ (= cells) zerlegt werden und da gibt es schon Vieles zu beachten. Die Eigenschaft jeder einzelnen Zelle wird dann vom Programm untersucht, berechnet, gespeichert und am Ende durch Integration zur Gesamtwirkung zusammengefasst. Dabei benützt Sonnet eine rechteckige Metallkiste (= „box“), in der das Messobjekt platziert werden muss und da sind wieder mehrere Grundeinstellungen vorzunehmen.

**Bei der Box sind die Wände immer aus verlustfreiem Metall, deshalb wirken sie als „Spiegel“. Aber beim Deckel oder beim Boden sieht es anders aus, denn wenn wir z. B. Antennen simulieren, muss die Energie ja irgendwo raus aus der Kiste (..in diesem Fall natürlich raus beim Deckel....).**

**Deshalb gibt es hier unterschiedliche Optionen, nämlich „verlustfrei = lossless“, „WG load = Hohlleiter-Eingang“, „free space = Freier Raum“ und natürlich ein selbst auszuwählendes Metall, z. B. Kupfer.**

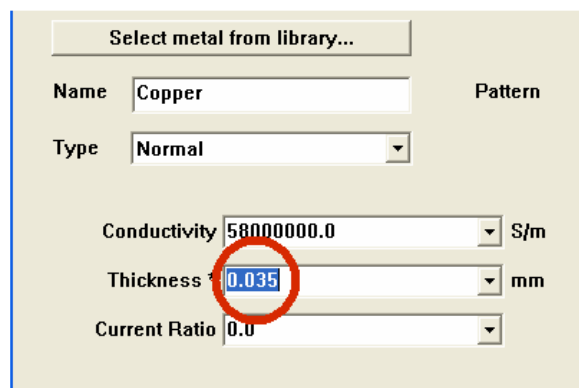
Die Feldverteilung in einer solchen Box ist bekannt und berechenbar und so erreicht die damit ausgeführte Simulation eine recht hohe Genauigkeit. Sie hängt von der gewählten Zellengröße ab (...je kleiner, desto genauer...aber die Rechenzeit, die dazu nötige Rechenzeit...) und liegt bei Beachtung der Spielregeln, speziell mit den Beschränkungen der Lite-Version, normalerweise irgendwo zwischen 1% und 4%. Wobei speziell bei resonanzfähigen Gebilden (wie z. B. Patchantennen) die Resonanzfrequenz anscheinend IMMER etwas zu hoch simuliert wird -- das muss man halt wissen und sich darauf einstellen.

### 4.1. Erforderliche Einstellungen



Nach dem Start des Programms erscheint die „Sonnet Task Bar“ und da starten wir über **„Project / New Geometry“** unseren Entwurf.

Anschließend öffnen wir über „Circuit“ das Menü **„Units“** und kontrollieren bzw., korrigieren die Voreinstellungen (**mm / GHz / Ohms / nH / pF**).



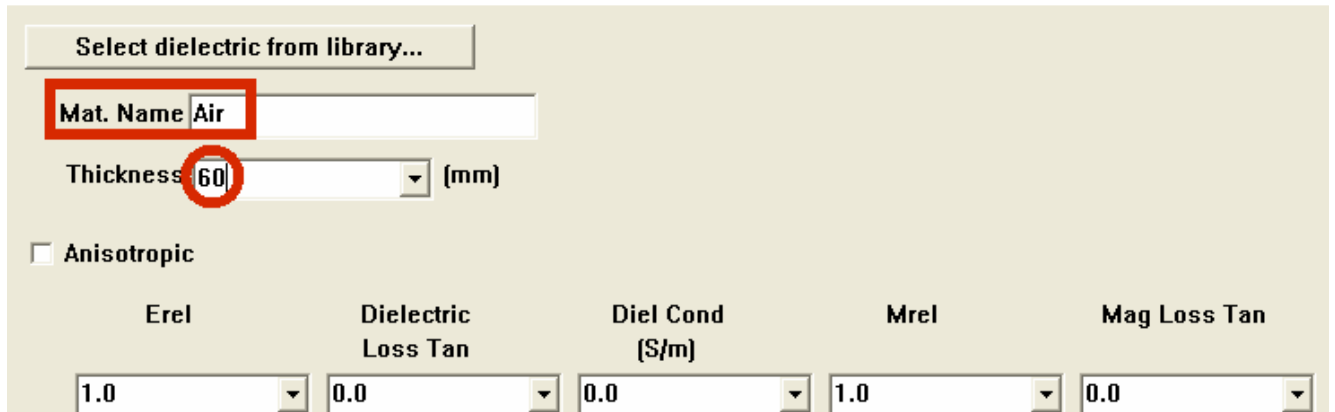
Dann brauchen wir (wieder unter „Circuit“) das Menü **„Metal Types“**. Dort ist nur „Lossless“ in der Liste aufgeführt, aber ein Klick auf **„Add“** und dann auf **„Select metal from library“** öffnet den Zugang zum Kupfer (= copper). Ein Klick auf diese Zeile, gefolgt von OK, öffnet das Property Menü der Kupferschicht und das muss so aussehen:

Darin wird die **Dicke der Kupferkaschierung (35µm = 0,035mm)** eingetragen und mit OK bestätigt.

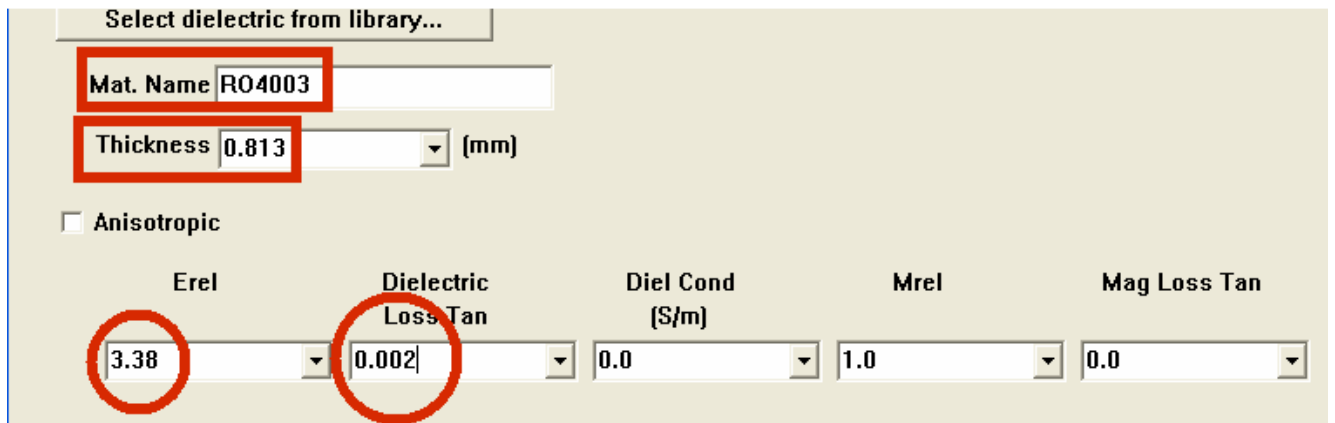


Im nachfolgenden Übersichts Menü sorgen wir gleich dafür, dass alles, was wir später zeichnen, gleich in Kupfer realisiert wird. Bei der gezeichneten Struktur kann man das leicht überprüfen, denn Kupferflächen erscheinen in der Farbe „Grün“.

Dann kann es an die verschiedenen „Dielectric Layers“ gehen -- wir finden sie erneut unter „Circuits“ und aktivieren mit „Edit“ die obere Ebene für das Luftpolster innerhalb der Box, die Sonnet simuliert. Dabei soll bei **Patchantennen dieses Luftpolster (laut Handbuch) etwa eine halbe Wellenlänge dick sein -- das sind etwa 60 mm.** Und zur besseren Information fügen wir auch den Namen „Air“ dazu.



Ist das erledigt und mit OK abgeschlossen, wird die untere Ebene markiert und mit „Edit“ das Menü geöffnet. Die Platine besteht aus dem Material „Rogers RO4003“ mit einer **Dicke von 32MIL (= 0,813mm)**, das eine **Dielektrizitätskonstante von 3,38** und einen **Verlustfaktor von 0,002** bei 2,5GHz aufweist. Diese Angaben werden der Reihe nach eingetippt:



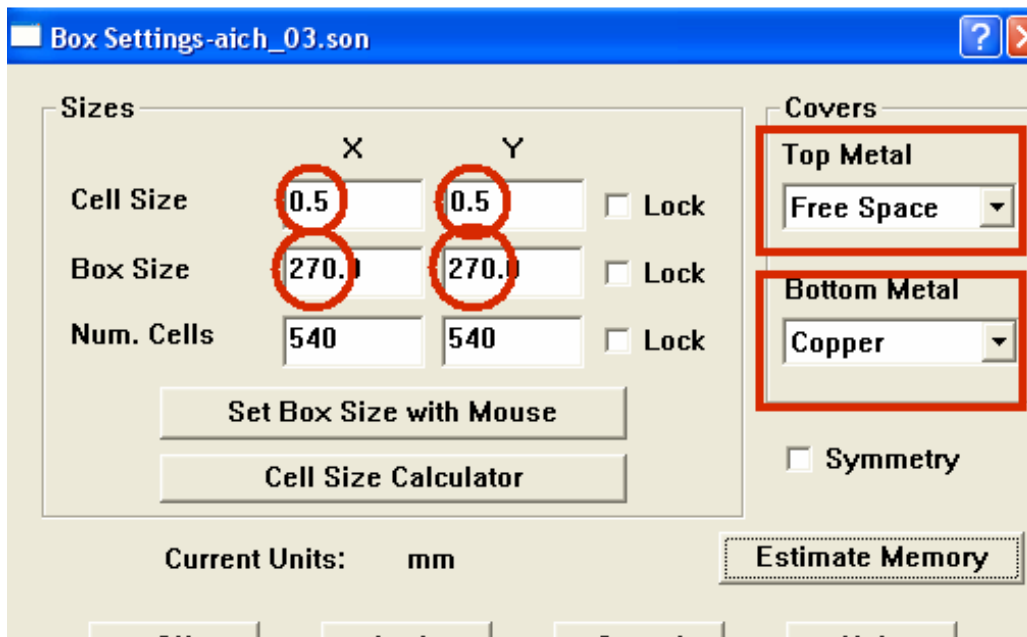
Jetzt kommt die wichtigste Sache, nämlich die „Box“, in der Sonnet simuliert. **Dazu wird die Struktur vom Programm in „Zellen“ zerlegt, deren Abmessungen man festlegen muss. Ein guter Richtwert ist „1% der Wellenlänge“ und dies wäre in unserem Fall etwas mehr als 1mm x 1mm.** Aber: kleinere Zellen geben höhere Simulationsgenauigkeit, beißen sich jedoch mit dem auf 16 Megabyte begrenzten Arbeitsspeicherplatz von Sonnet Lite. Also wurden „0,5mm x 0,5mm“ festgelegt.

**Sonnet empfiehlt, von allen Kanten der zu simulierenden Struktur bis zur Boxenwand zwischen ein und drei Wellenlängen Abstand einzuhalten. Bei Patchantennen möglichst in Richtung Höchstwert gehen -- wenn das bei der Lite-Version möglich ist, ohne dass das Programm mit einer Fehlermeldung abbricht....!**

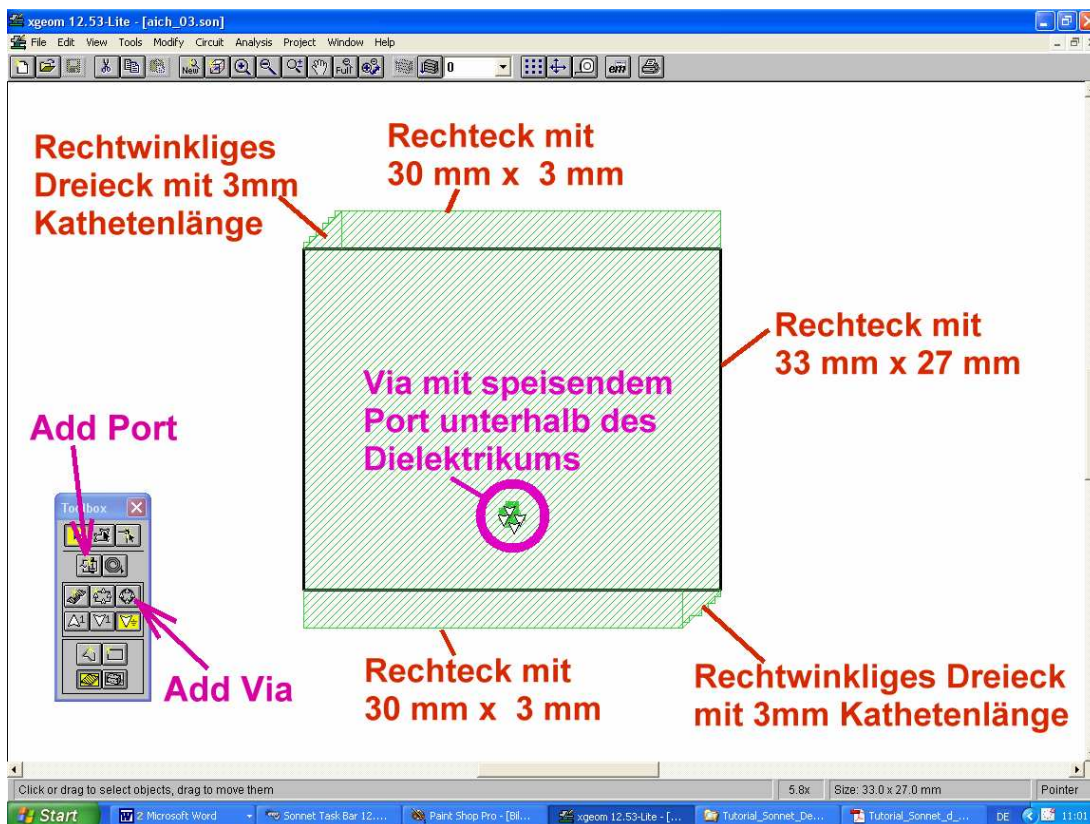
Der **Deckel der Box** darf NICHT aus Metall bestehen. Das muss unbedingt durch „Free Space“ ersetzt werden, denn wir wollen ja abstrahlen!

Für den **Boden der Box** verwenden wir **Kupfer**.

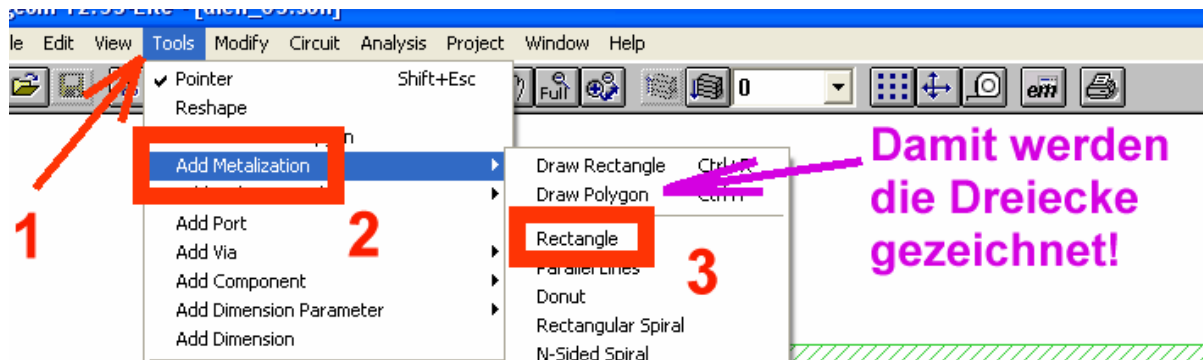
Deshalb wurde für die Box-Grundfläche ein Wert von „2 x Wellenlänge + 1 x Patch-Kantenlänge“, also ca. „2 x 12 cm + 3 cm = 27 cm“ festgelegt. Das passt gerade noch in die freigegebenen 16 MB beim Arbeitsspeicher.



Damit sind die Vorbereitungen abgeschlossen und es geht an das Zeichnen der Antennenstruktur. So muss sie aussehen, damit die Simulation gestartet werden kann (...es handelt sich um ein Quadrat mit 33 mm Kantenlänge, bei dem die Ecken um je 3 mm gekürzt wurden):



Zum Zeichnen der Struktur gibt es einige hübsche Werkzeuge und damit ist die Herstellung der 3 Rechtecke sowie der beiden Dreiecke ein Kinderspiel (Pfad: **Tools / Metalization / Rectangle** bzw. **Draw Polygon**):



Nachdem man dieses Puzzle komplett zusammengefügt und sorgfältig in der Mitte der Box zentriert hat, muss an der Position

$$X = 16,5\text{mm} / Y = 9\text{mm}$$

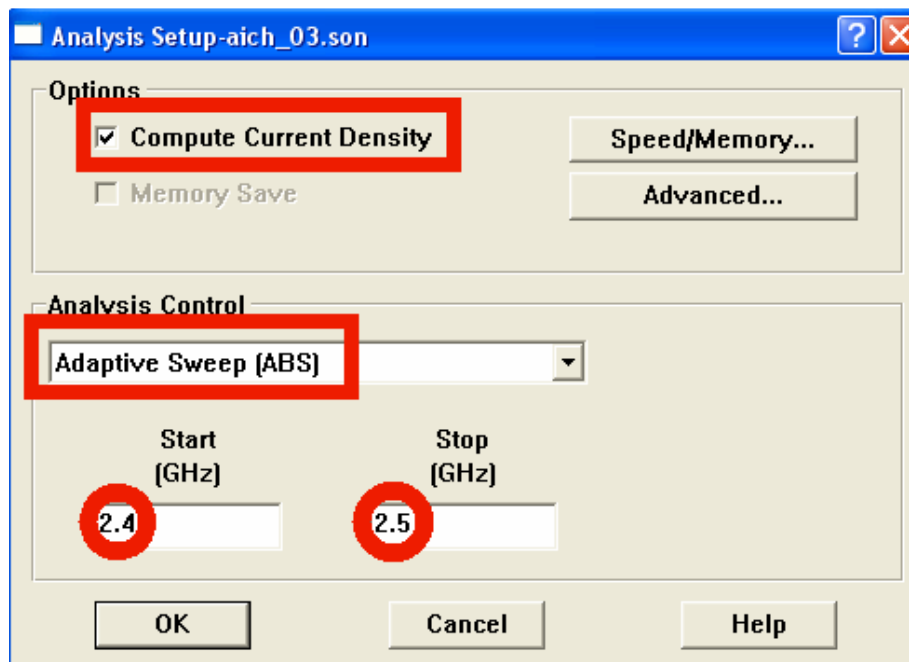
(bezogen auf die linke untere Ecke der Antenne) eine **Durchkontaktierung („Via“)** mit einem Durchmesser von **1,27mm** eingefügt werden. Der Durchmesser entspricht dem Innenleiter der verwendeten SMA-Buchse und er lässt sich leicht im auftauchenden Menü einstellen. Anschließend brauchen wir noch einen **Port, der nach der Platzierung auf dem Via automatisch vom Programm auf der Unterseite des Dielektrikums angeschlossen wird.**



Wir bekommen ihn zu sehen, wenn wir auf die „Ground“-Ebene umschalten und er präsentiert sich nur als schlichtes Rechteck mit der Ziffer „1“ im Inneren. Ein Doppelklick auf diese Ziffer öffnet sein Property Menü und da können die korrekten Einstellungen (Type = Standard / Resistance = 50 Ohms) geprüft werden.

Jetzt geht es los!

## 4.2. Simulation

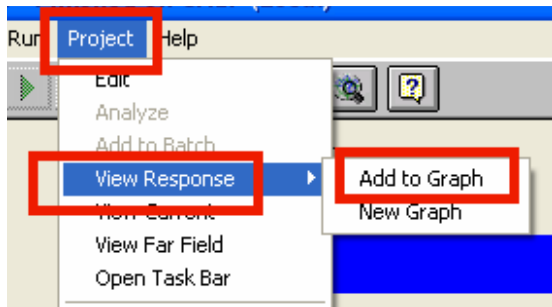


Unter „**Analysis**“ im Hauptmenu steht „**Setup**“ und das füllen wir folgendermaßen aus:

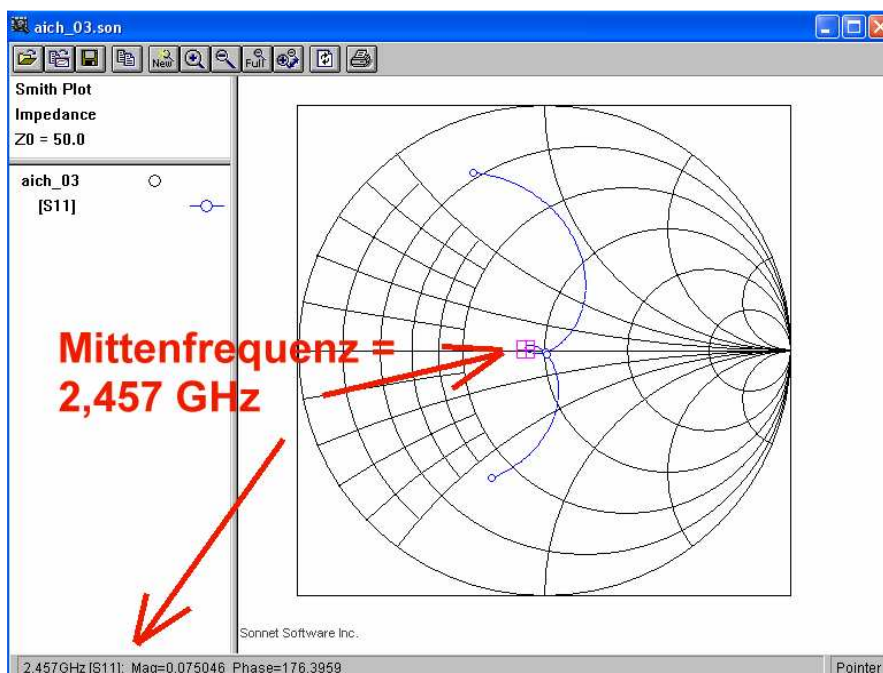
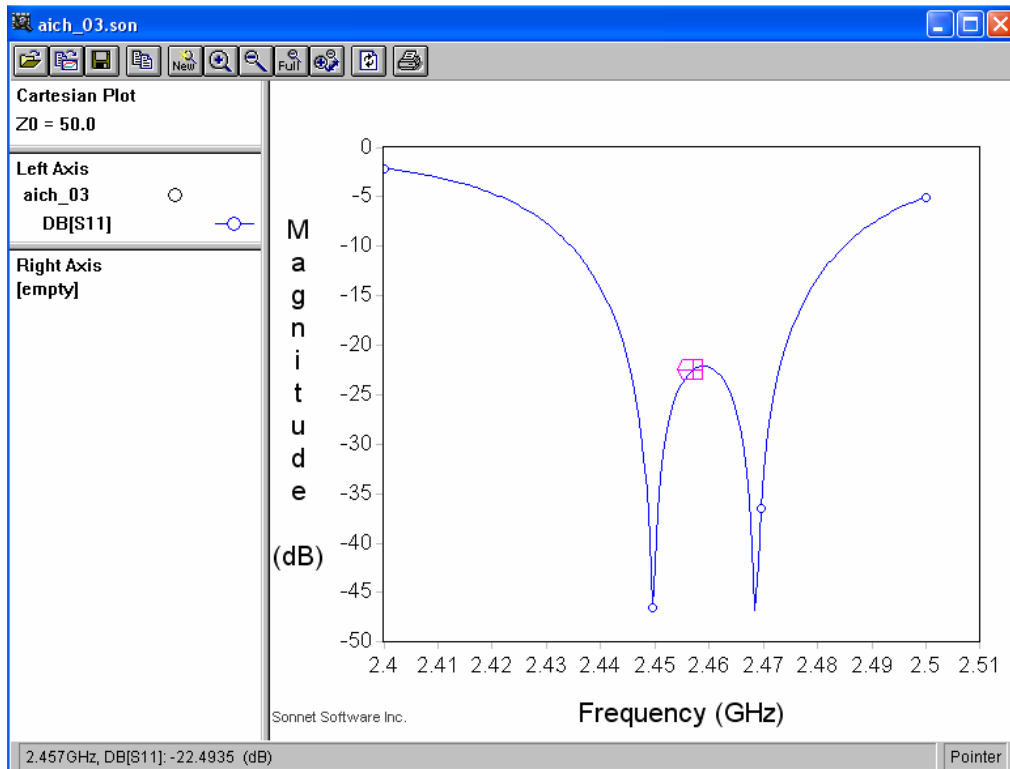
Es wird von 2,4 bis 2,5GHz simuliert, es wird mit einem „Adaptive Band Sweep“ gearbeitet -- der kürzere Rechenzeit ergibt! -- und wir lassen uns auch die **Stromdichte** auf dem Patch errechnen:

Dann dürfen wir (oben rechts in der Menüleiste) den „**EM**“-Button drücken und starten damit die Berechnung.





Ist sie erfolgreich abgeschlossen, wird auf diesem Weg das Ergebnis geholt und das Ergebnis bewundert. Sehr schön sind darin die beiden Einzelstrahler mit ihren Resonanzfrequenzen zu erkennen und die gewünschte Betriebsfrequenz sollte natürlich genau in der Mitte dazwischen liegen. Allerdings hängen wir wieder an der begrenzten Auflösung von Sonnet Lite und müssen mit dem Ergebnis zufrieden sein:



Oben in der Menüleiste können wir noch auf „**Graph / Type / Smith**“ klicken und erhalten eine Ausgabe im Smith Chart:

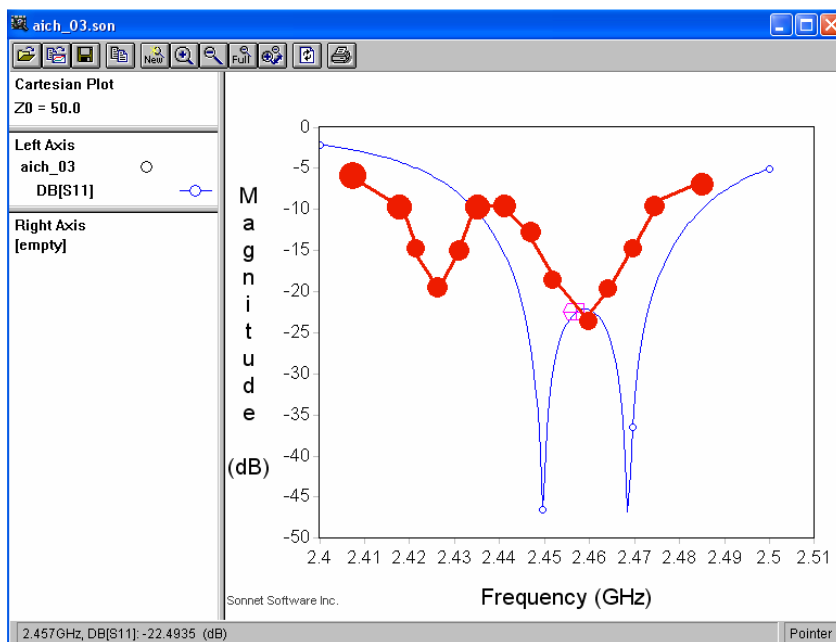
An dieser Stelle wurde mit der Simulation aufgehört, eine Musterplatine angefertigt und diese vermessen. Dabei ergab sich eine **Mittenfrequenz von 2393 MHz**.  
Gegenüber dem gewünschten Wert von 2,45 GHz ist das also um den Faktor  $(2393 / 2450) = 0,9767346$  zu tief. Exakt um diesen Faktor werden nun die Patchabmessungen verkleinert, um eine neue Platine anzufertigen. Sie lauten:

Die Außenabmessungen des Patches sinken auf  **$0,9767346 \times 33 \text{ mm} = 32,23 \text{ mm}$**

und die Ecken werden um  **$0,9767346 \times 3 \text{ mm} = 2,93 \text{ mm}$**  beschnitten.

Der neue Feedpoint liegt nun (von der linken unteren Ecke aus gemessen) bei

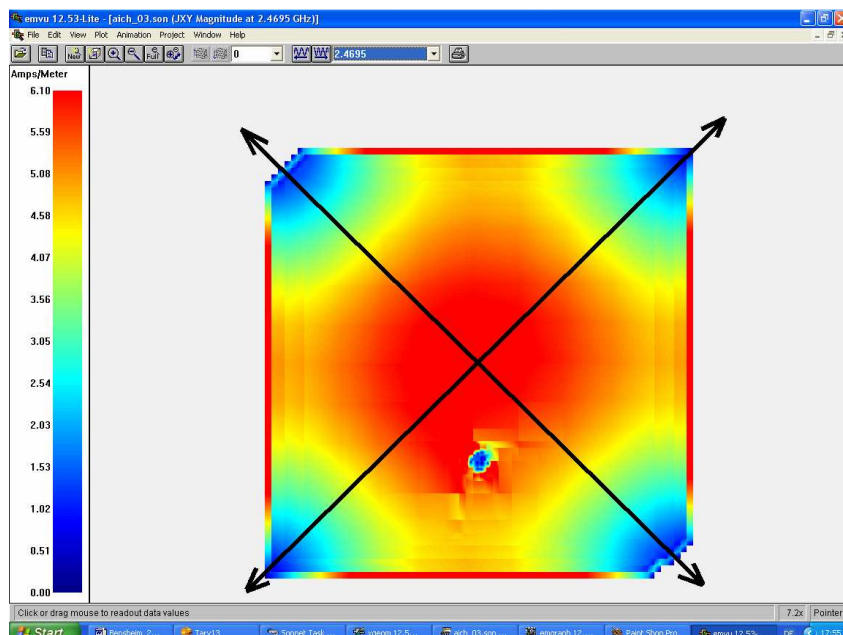
**$X = 0,97673 \times 16,5 \text{ mm} = 16,12 \text{ mm}$**  und  **$Y = 0,97673 \times 9 \text{ mm} = 8,79 \text{ mm}$**



Das Ergebnis ist höchst interessant:  
Lag bei der letzten Simulation die Mittenfrequenz um ca. 8 MHz zu hoch, so ist sie bei der ausgemessenen, neuen Platine um etwa 10MHz zu tief und die beiden Resonanzfrequenzen der Strahler sind etwas weiter voneinander entfernt. Das bedeutet, dass man jetzt zusätzlich an den Maßsen der abgeschnittenen Ecken feilen müsste, denn die sind für den Frequenzunterschied der Strahlerresonanzen verantwortlich (...irgendwie erinnert das ja an die Kopplung bei einem Zweikreis-Bandfilter...).

Aber da könnte man nun ewig weitermachen....

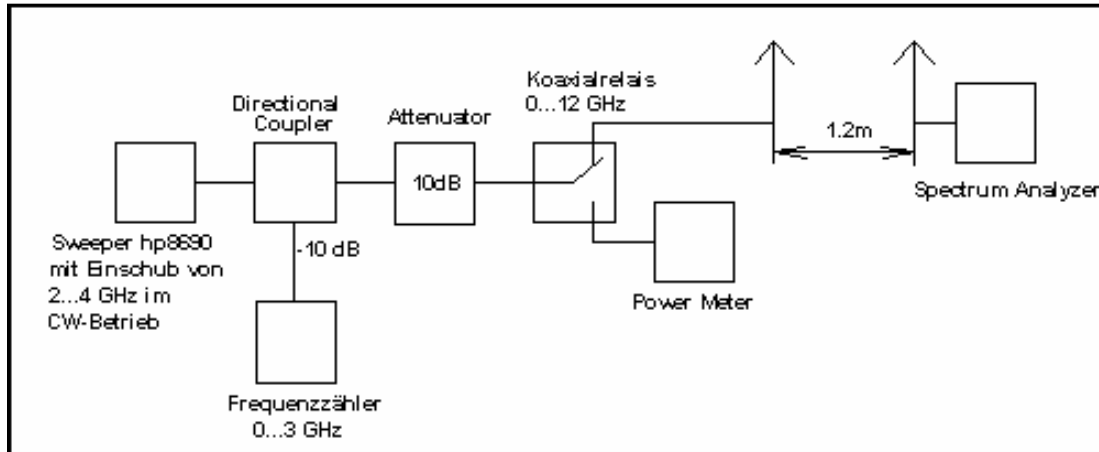
### 4.3. Die Sache mit der Stromdichte



In der Menuleiste der Seite mit dem gezeichneten Patch findet sich unter „Project“ auch „View Current“. Wählt man darin die **Frequenz  $f = 2450 \text{ MHz}$** , dann findet man plötzlich auch eine optische Bestätigung der Theorie und der Simulation: sehr schön sind nun die beiden strahlenden Diagonalen zu erkennen, denn genau an den vier Ecken ist der Strom = Null und in der Patchmitte hat er ein Maximum.

## 5. Richtdiagramm und Gewinn

Dazu wurde folgender Messaufbau verwendet, bei dem zunächst zwei völlig identische, linear polarisierte Patchantennen mit perfekter Anpassung (Eingangswiderstand exakt = 50Ω) eingesetzt sind und die linke Antenne genau mit dem Sendepiegel von 1mW (also Null dBm) gespeist wird. Zusätzlich liefert ein Frequenzzähler eine Auskunft über die gerade verwendete Messfrequenz. Die Gewinnbestimmung erfolgt nun nach der Methode, die in [1] abgeleitet und beschrieben ist. Hier die Kurzfassung:



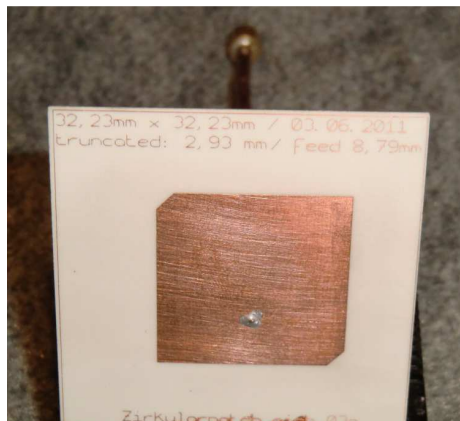
Der gegenseitige Abstand der beiden Antennen von 120 cm entspricht bei 2,45 GHz etwa 10 Wellenlängen und damit befindet man sich im Fernfeld, bei dem für den Empfangspegel die berühmte „Friis-Formel“ gilt:

$$P_{\text{Empfang}} = P_{\text{Sender}} \cdot G_{\text{Sendeantenne}} \cdot G_{\text{Empfangsantenne}} \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi \cdot d} \right)^2$$

Mit dem Sendepiegel von 0 dBm, dem gegenseitigen Antennenabstand von 120 cm, einer Wellenlänge von 12,24 cm und zwei Antennen mit identischem Verhalten ergab sich damit ein Antennengewinn von +6,4dBi für jede Antenne.

Nun wurde die auf den Analyzer-Eingang aufgeschraubte Messantenne durch die neue zirkulare Version ersetzt, diese anschließend in Schritten von ca. 30 Grad im Kreis gedreht und bei jeder Winkelstellung die Pegeländerung am Spectrum Analyzer abgelesen.

Im Idealfall wäre nach der Theorie eine konstante Pegelabnahme von exakt 3dB gegenüber linearer Polarisation zu erwarten und das zugehörige Richtdiagramm sollte ein Kreis sein (...ist ja logisch, denn bei Zirkularpolarisation wird die Sendeleistung in zwei gleiche Komponenten gesplittet, die nicht nur räumlich, sondern zusätzlich auch in der Phase um 90 Grad verschoben sind. Die linear polarisierte Empfangsantenne kann davon jedoch nur eine Komponente aufnehmen -- also bekommen wir nur die halbe maximal mögliche Empfangsleistung und das sind die eben erwähnten -3 dB).



Die Literatur [2] deutete schon an, dass dieser Idealfall in der Praxis selten erreicht wird und meist eine Ellipse statt des Kreises zu beobachten ist. Aber Minderleistungen in den beiden Minima bis zu 3 dB können normalerweise toleriert werden. Leider waren es dann doch zwischen 4 und 5 dB -- Na ja, so ist das eben. Zum Glück wirkte sich das in der Praxis nicht so stark aus wie befürchtet und der Modellflieger war mit dem nebenstehenden ersten Testexemplar (samt Semi-Rigid-Kabel und SMA-Anschluss) überglücklich.

**Und jetzt noch eine herrliche „Last Minute“ Information:  
Die neue kostenlose Version 13 von Sonnet Lite mit einem von 16MB auf 32 MB erweiterten Arbeitsspeicher ist da!**

Literatur:

[1]: Gunthard Kraus, DG8GB: „Simulation und Realisierung einer Helix-Antenne für 2,45GHz mit 4NEC2“. UKW-Berichte 4 / 2010, Seite 195 – 211

[2]: Orban Microwave Application Note: „The Basics of Patch Antennas, Updated“. Zu finden im Internet