



*Gunthard Kraus, DG 8 GB*

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

**Fortsetzung aus Heft 3/2006**

### 3.4. Messergebnisse und Fertigstellung des Entwurfs

Bei der nach diesen Vorgaben gefertigten Antenne wurde auf der Rückseite der Flansch der SMA-Buchse mit der Massefläche und in der Patchfläche ihr Innenleiter verlötet. Die Messung erfolgte mit einem Netzwerk-Analysator hp8410 (um einen Richtkoppler und einen Frequenzzähler am Senderausgang ergänzt) am neuen Antennenmuster.

Glücklicherweise bestätigten sich wieder die Ergebnisse aus früheren Arbeiten, deshalb können sie als wichtiger zu berücksichtigender Punkt für zukünftige SONNET-Entwicklungen hiermit publiziert werden:

SONNETLite simuliert die Anpassung sehr exakt, jedoch stimmen die Behauptungen über die Resonanzfrequenz nicht ganz! (Das bedeutet: die entsprechend dem Simulationsergebnis gefertigte Antenne weist stets eine etwas zu niedrige Resonanzfrequenz auf!)

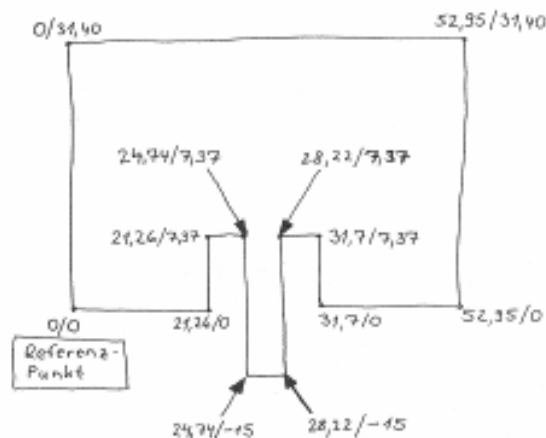
Bei der Musterantenne betrug der gemessene minimale Reflektionsfaktor bei Resonanz etwa 1 %, was einem S11 von ca. -40 dB entspricht. Dies aber bei einer Frequenz von 2383 MHz, statt den erhofften 2450 MHz und das sind etwa -2,5 % Differenz.

Zur Korrektur und Fertigungsentwicklung gibt es prinzipiell drei Möglichkeiten:

a) Man wiederholt die SONNETLite-Simulation und strebt eine um 2,5 % (exakt: um 67 MHz) höhere Resonanzfrequenz an oder

b) man simuliert die tatsächlich gemessenen Werte der Antenne, ermittelt auf diese Weise die Abweichungen vom Ideal und korrigiert das Layout um diese Beträge. Mit der Vollversion wäre das alles eine Kleinigkeit, aber beim limitierten Arbeitsspeicher der Testversion und der dadurch begrenzten Zellenzahl wird es sehr schwer oder fast unmöglich sein, genau diese Vorgaben zu treffen.

c) Man schont seine Nerven, nimmt den Taschenrechner zur Hand, reduziert alle Abmessungen um den Faktor



**Bild 26:** Sorry, aber ohne diese Vorarbeit und der daraus erstellten Koordinatenskizze ist es fast unmöglich, die Antenne mit dem SONNET-Editor zu zeichnen

$$2383 \text{ MHz} / 2450 \text{ MHz} = 0,972653$$

und verschiebt damit die Resonanz nach oben.

So wurde das gemacht und ein neues Patch mit den korrigierten Abmessungen

$$\begin{aligned} \text{Länge} &= 31,99 \text{ mm} \times 0,972653 = \\ &= 31,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Breite} &= 55,68 \text{ mm} \times 0,972653 = \\ &= 54,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Speisepunkt-Koordinaten} &= \\ &= 27,08 \text{ mm} / 8,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

entworfen und auf einer 80 mm x 60 mm großen Leiterplatte angefertigt.

Dieses Exemplar lieferte nun folgendes Ergebnis:

Die Resonanzfrequenz beim Minimum von S11 (zwischen -34 bis -40 dB) liegt nun bei ca. 2449 MHz!

Das neue Ergebnis ist sehr zufriedenstellend, folglich wurde hier nichts weiter unternommen, sondern gleich die nächste Version angepackt.

## 4.

### Rechteckiges Patch mit integrierter 50 Ohm-Mikrostreifen-Speiseleitung

#### 4.1. Entwurf

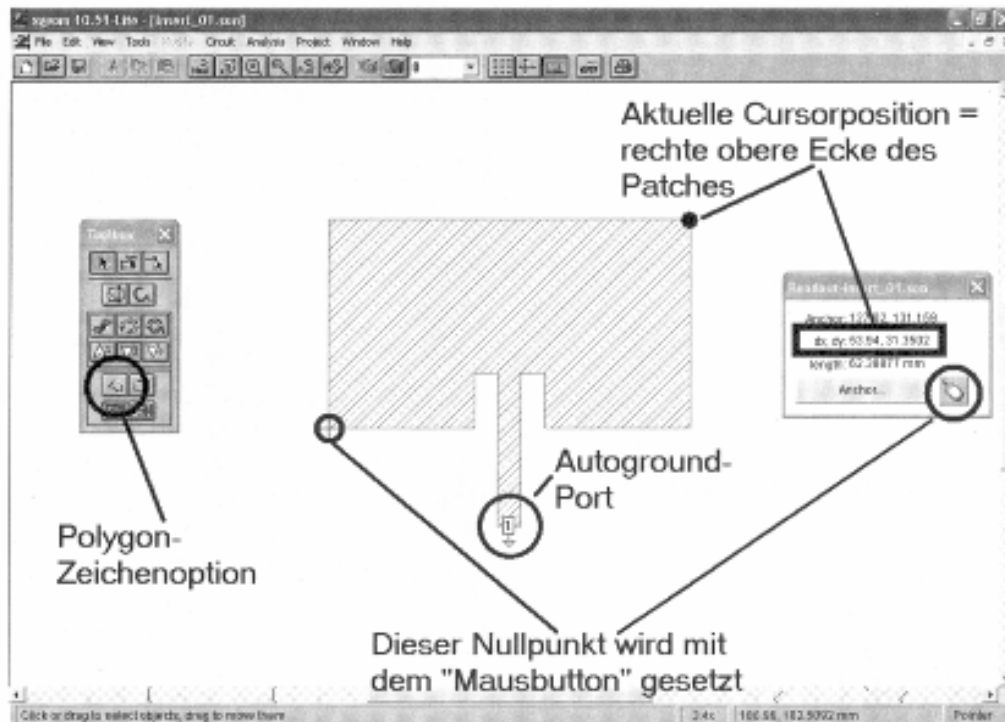
Faszinierend an dieser Version ist die Tatsache, dass man auf der Patchseite sofort mit einer 50  $\Omega$ -Speiseleitung ohne Zwischenschaltung einer Transformationsanordnung (z. B. einer  $\lambda/4$ -Leitung) bis zum Platinenrand fahren und dort entweder einen Stecker oder ein Semirigid-Kabel anschließen kann. Für viele Anwendungen ist das von Vorteil, außerdem spart es beträchtlich Platz und ermöglicht es, dieselben Platinenabmessungen wie in Version 1 zu benutzen. Doch zuerst muss man sich etwas Übersicht über die Eigenheiten dieser Struktur verschaffen und beginnt mit der Simulation dort, wo man im vorigen Kapitel aufgehört hat.

Folglich nimmt man als Ausgangsbasis die Patch-Abmessungen der letzten rechteckigen Version mit Speisung von der Unterseite aus. Sie lauten:

$$\begin{aligned} \text{Länge} &= 31,12 \text{ mm} \\ \text{Breite} &= 54,16 \text{ mm} \\ \text{Speisepunkt-Koordinaten} &= \\ &= 27,08 \text{ mm} / 8,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mit dem SONNET-Editor versucht man diese Werte möglichst genau zu treffen. Die Speisung von der Platinenunterseite her, mit Hilfe einer Durchkontaktierung, fällt natürlich nun weg und stattdessen führt die Streifenleitung (Breite 3,48 mm - Siehe Kapitel 3.3 in Teil 1!) vom Platinenrand bis zum 50  $\Omega$ -Anpassungspunkt innerhalb der Patchfläche. Links und rechts neben dieser Leitung lässt man je eine Leitungsbreite von 3,48 mm frei.

Die Platinen-Außenmaße betragen 80 mm x 60 mm, damit hat man nach oben und unten knapp 15 mm vom Patch bis zum Platinenrand Platz. Etwa um diesen Betrag verlängert man die Streifenleitung über die untere Patchkante hinaus für die Simulation. Damit



**Bild 27: So funktioniert das Zeichnen mit der Polygon-Funktion. Bitte hinterher den „Autoground-Port“ nicht vergessen!**

kann man endlich wieder die „Koordinatenskizze“ als Vorgabe für die SONNET-Simulation zusammenstellen, sie ist in **Bild 26** zu sehen.

Alle Box-, Metall- und Dielectric-Einstellungen bleiben unverändert und damit zeichnet man nun die neue Struktur. Allerdings geht das diesmal nicht mit der Rechteck-, sondern nur mit der Polygon-Zeichenfunktion, erneut unter Zuhilfenahme des „Measuring Tools“ aus dem „View“-Menü.

Achtung: Ganz am Anfang der Speiseleitung gibt es diesmal kein „Via“, sondern nur einen Port. Ganz wichtig ist es jedoch, die Port-Eigenschaften (rechter Mausklick / Properties) sofort auf „Autoground“ umzustellen, sonst handelt man sich eine unschöne Fehlermeldung und einen Simulationsabbruch ein!

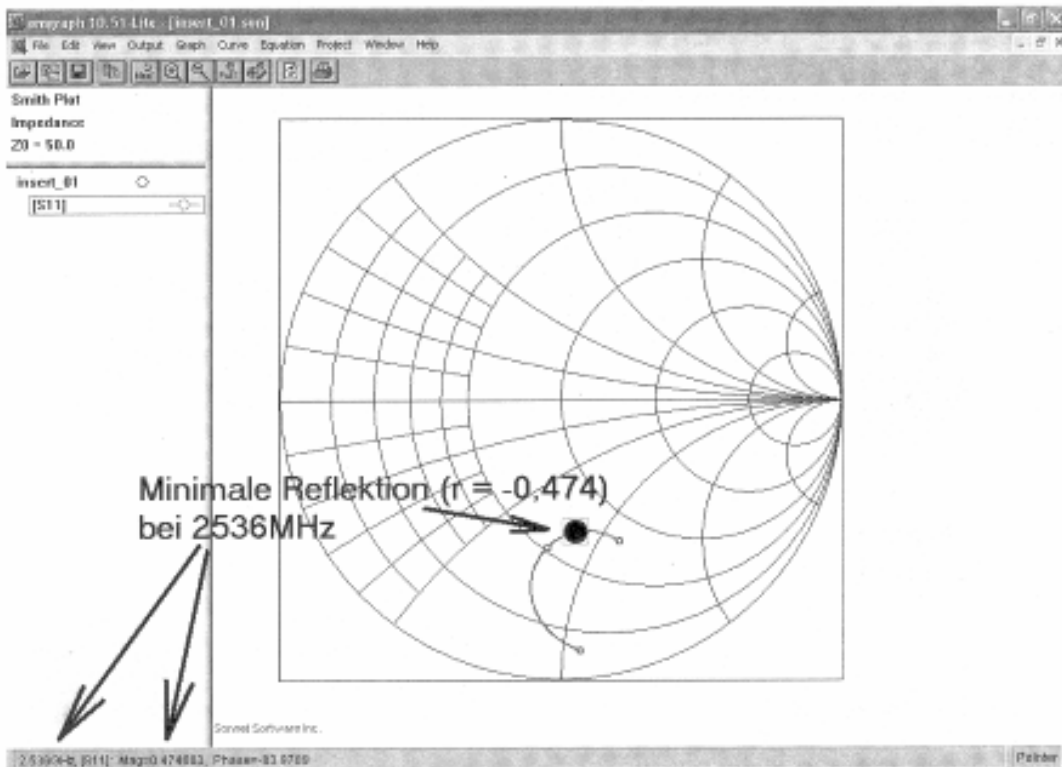
Die gezeichnete Antenne zeigt **Bild 27** und alle dafür wichtigen Informationen. Ihre Abmessungen weichen natürlich wegen der

SONNET-Zellenstruktur etwas von den Vorgaben ab und seien deshalb hier aufgeführt.

Länge x Breite = 53,94 mm x 31,35 mm  
Feedpoint = 8,32 mm von der unteren Patchkante entfernt

Das Ergebnis der ersten Simulation ist in **Bild 28** zu sehen, wobei gleich auf die Smith-Darstellung gewechselt wurde. Über die nicht ganz korrekte Resonanzfrequenz braucht man sich vorerst keine Gedanken zu machen, denn da gibt es etwas Wichtigeres:

Bei dieser Konstruktion darf man, aufgrund der geänderten Feldverteilung, mit der Feedleitung nicht so weit in die Patchfläche hineinfahren, da sonst die Eingangsimpedanz bei der Resonanzfrequenz deutlich unter 50 Ohm sinkt. Ausserdem wird sich beim Optimieren zeigen, dass jede Verschiebung des Speisepunkts sofort massiv die Resonanzfrequenz der Antenne verändert!



**Bild 28: Etwas enttäuschend, aber genau das wollte man ja wissen: der erste Entwurf ist noch weit vom Ziel entfernt**

(Diese Information liefert nur ein EM-Simulator, wohingegen ein S-Parameter-Programm wie PUFF bei solchen Voraussagen ohne passende Modelle völlig hilflos ist).

Die notwendige Neuzeichnung der Struktur bei jeder Verbesserung der Anpassung ist etwas lästig, aber nach einigen Durchgängen landet man schließlich bei folgenden Daten:

Länge x Breite = 31,99 mm x 53,94 mm  
Speisepunkt = 5,76 mm von der unteren Patchkante entfernt

Das Ergebnis von SONNETLite ist in **Bild 29** zu sehen und damit ist es wieder an der Zeit, eine neue Musterplatine anzufertigen.

#### 4.2. Messergebnisse und Korrekturen beim zweiten Versuchsexemplar

Die Muster-Platine des zweiten Durchgangs liefert folgende Messergebnisse:

*Den kleinsten Wert des Reflektionsfaktors mit ca. +13 % erhält man bei 2435 MHz.*

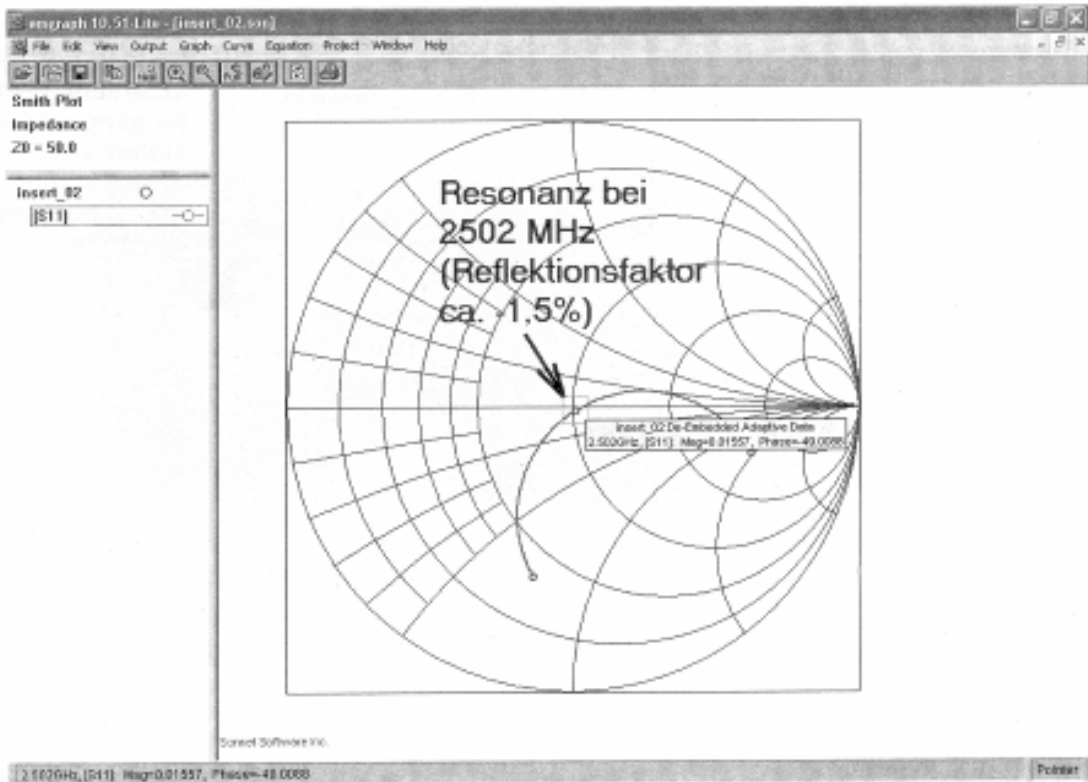
Also gilt es, wieder die Patchabmessungen um den Faktor

$$2435 \text{ MHz} / 2450 \text{ MHz} = 0,9938775$$

zu reduzieren und zusätzlich den Speisepunkt etwas mehr in Richtung Patchmitte zu verlegen, um den nun etwas zu groß geratenen Eingangswiderstand zu vermindern.

Zuerst kümmert man sich um den zu hohen Eingangswiderstand.

Die Patchantennen-Länge (hier: 31,99 mm - also etwa 32 mm) bestimmt die Resonanzfrequenz und entspricht etwa der halben Wellenlänge. An jedem offenen Ende erhält man ein Spannungsmaximum, aber in der Mitte ein Strom-Maximum mit der Spannung „Null“, ähnlich wie bei einem Dipol (...davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man



**Bild 29: Damit lohnt sich bereits der Aufwand für eine Musterplatine**

sich bei der SONNET-Simulation die Stromverteilung auf dem Patch mit „View Current“ darstellen lässt).

Also kann man den jetzt verwendeten „Inserted Feed“ folgendermaßen deuten und beschreiben, wenn man sich nur die linke Patchhälfte mit dem Feed vornimmt:

Man hat ein Leitungsstück mit der Länge  $l = \lambda/4$  vor sich, bei dem direkt am Anfang (= strahlende Patchkante) der Strahlungswiderstand wirksam und zu messen ist. Hier herrschen hohe Spannung und kleiner Strom. Am Ende (= Patchmitte) hat man Verhältnisse wie bei einem Kurzschluss (Spannung = Null, aber Strom = Maximum).

Stellt man sich nun genau in die Patchmitte, so steigt die Spannungen nach einer Sinusfunktion an, wenn man sich vom Mittelpunkt aus nach links begibt. Zapft man nun diese Leitung auf diesem Weg irgendwo an, hat

man einfach einen Transformator vor sich, bei dem folgende Beziehung gilt:

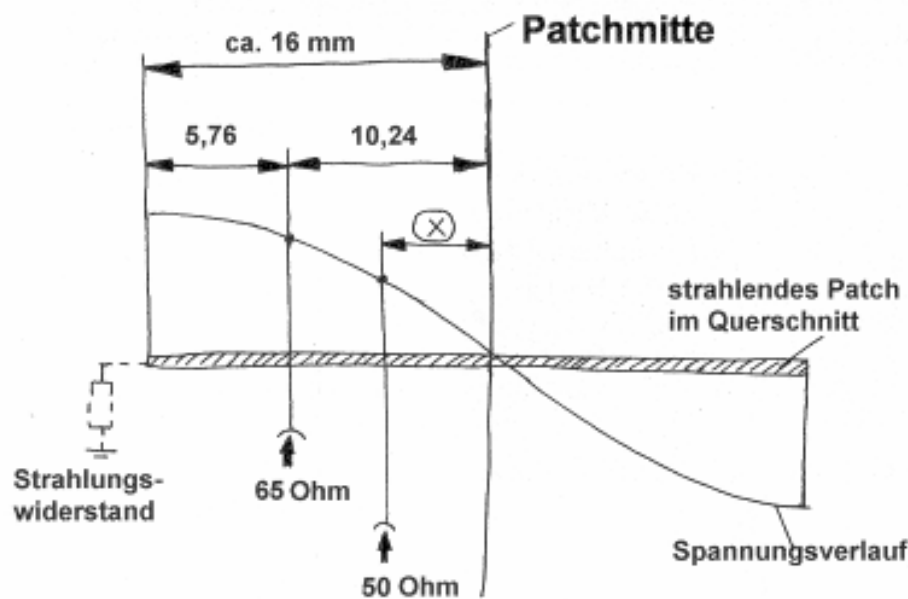
Die Widerstände verändern sich QUADRATISCH mit den Spannung entlang des Leitungsstücks UND die Spannung ändert sich sinusförmig über dieser Leitungslänge.

Diese Zusammenhänge sind in **Bild 30** skizziert. Mit einem Abstand von 5,76 mm zwischen strahlender Patchkante und Speisepunkt wurde bei der gefertigten Platine im Resonanzfall ein Reflektionsfaktor von +13 % gemessen. Das ergibt dort einen Eingangswiderstand von

$$R_{\text{ein}} = 50\Omega \cdot \frac{1 + 0,13}{1 - 0,13} = 65\Omega$$

wobei der Abstand des Speisepunkts von der Patch-MITTE etwa

$$16 \text{ mm} - 5,76 \text{ mm} = 10,24 \text{ mm} \text{ beträgt.}$$



**Bild 30:**  
So kommen die unterschiedlichen Eingangswiderstände bei der Verschiebung des Speisepunktes zustande

Der Rest ist reine Rechenarbeit mit dem Taschenrechner. Man sucht den neuen Punkt für einen Eingangswiderstand von  $50 \Omega$  und tauft dessen Abstand von der Patch-MITTE einfach „x“. Dann gilt für die beiden Speisepunkte (**Formel 1**).

$$\frac{50 \Omega}{65 \Omega} = \left[ \frac{U_{50 \Omega}}{U_{65 \Omega}} \right]^2 = \left[ \frac{U_{\max} \cdot \sin\left(90^\circ \cdot \frac{x}{16 \text{ mm}}\right)}{U_{\max} \cdot \sin\left(90^\circ \cdot \frac{10,24 \text{ mm}}{16 \text{ mm}}\right)} \right]^2 = \left[ \frac{\sin\left(90^\circ \cdot \frac{x}{16 \text{ mm}}\right)}{\sin\left(90^\circ \cdot \frac{10,24 \text{ mm}}{16 \text{ mm}}\right)} \right]^2 \quad [1]$$

Nach Umstellen erhält man (**Formel 2**).

$$\sin\left(90^\circ \cdot \frac{x}{16 \text{ mm}}\right) = \sqrt{\frac{50}{65}} \cdot \sin\left(90^\circ \cdot \frac{10,24 \text{ mm}}{16 \text{ mm}}\right) = 0,877 \cdot 0,844 = 0,74 \quad [2]$$

Dazu gehört ein Winkel von 47,473 Grad und man erhält die Beziehung

$$90^\circ \cdot \frac{x}{16 \text{ mm}} = 47,473^\circ$$

Der Rest ist einfach, denn das ergibt nach der Formelumstellung:

$$x = 8,49 \text{ mm}$$

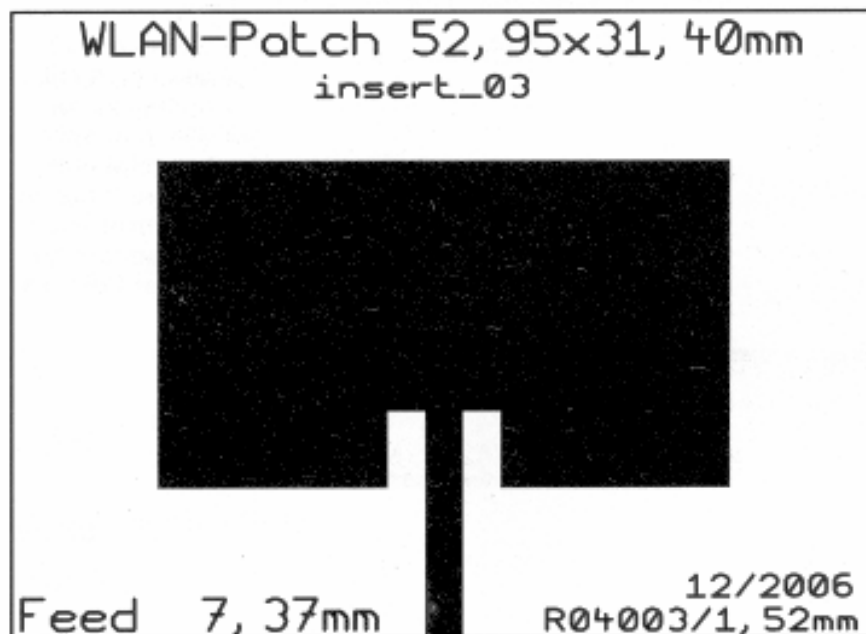
und damit als neuen Abstand von der Patchkante den Wert

$$16 \text{ mm} - 8,49 \text{ mm} = 7,51 \text{ mm}.$$

Doch Vorsicht: damit wurde erst die ausgemessene Versuchspaltine umgestellt! Für die nächste Version gilt, dass man (siehe oben!) alle Maße um den Faktor 0,9938775 verkürzen

muss, um auf die richtige Frequenz zu kommen. Das ergibt nun endgültig:

$$\begin{aligned} \text{Länge} \times \text{Breite} &= 31,79 \text{ mm} \times 53,61 \text{ mm} \\ \text{Speisepunkt} &= 7,46 \text{ mm} \\ &\text{von der unteren Patchkante entfernt.} \end{aligned}$$



**Bild 31:**  
Zur Erinnerung:  
bitte immer möglichst  
viele Informationen  
zusätzlich zur ge-  
wünschten Struktur  
auf der Platine mit  
liefern!

### 4.3. Die letzte Musterplatine

Die mit diesen Vorgaben gefertigte dritte Platine wurde wieder mit dem Netzwerk-Analysator untersucht; das Ergebnis lautet:

Die Resonanz liegt bei 2420 MHz und dort beträgt der Reflektionsfaktor ca. +1 %

Das bedeutet:

a) Die Überlegungen zur Korrektur der Anpassung waren genau richtig, aber...

b) durch die Verschiebung des Speisepunktes in Richtung Patchmitte veränderte sich die Eigenresonanz einer solchen Struktur weit stärker als erwartet. Folglich geht nun wieder das schon bekannte Spiel los:

Alle Abmessungen sind um den Faktor

$$2420 \text{ MHz} / 2450 \text{ MHz} = 0,9877551$$

gegenüber dem zweiten Entwurf zu verkleinern und lauten dann:

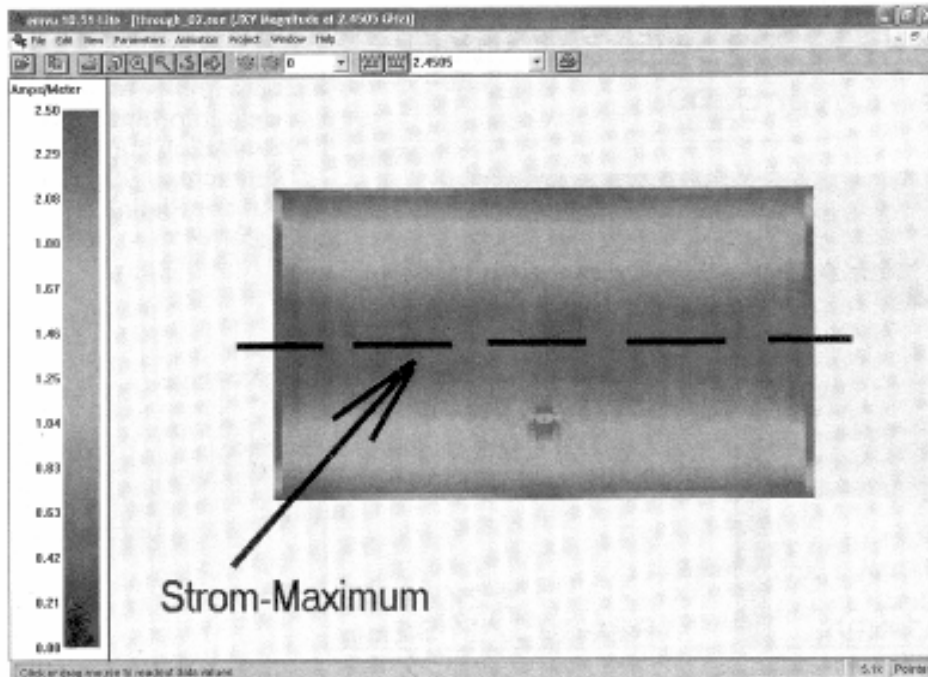
$$\begin{aligned} \text{Länge} \times \text{Breite} &= 31,40 \text{ mm} \times 52,95 \text{ mm} \\ \text{Speisepunkt} &= 7,37 \text{ mm} \\ &\text{von der unteren Patchkante entfernt.} \end{aligned}$$

Etwas Erstaunen gab es bei der Messung dieses Gebildes, denn die neue Resonanzfrequenz lag nun fast bei 2470 MHz und der Eingangswiderstand betrug weniger als  $50 \Omega$  (Reflektionsfaktor = -8 %).

Wieder bestätigte sich, dass diese Version sehr, sehr heikel reagiert, sobald auch nur Kleinigkeiten an den Abmessungen verändert werden. Sogar die vorgenommene simple Verkleinerung der Abmessungen beim letzten Schritt wurde übel genommen. Eine genauere Untersuchung zeigte, dass folgende Effekte dafür verantwortlich sind:

a) die Verkleinerung schob, wie gewünscht, die Resonanzfrequenz nach oben, aber...

b) dadurch wurde rundum der Abstand der Patchstruktur zum Platinenrand etwas größer und schon ist zu fühlen, dass leider die Voraussetzungen für eine korrekte SONNET-Simulation nicht gelten (Erinnern Sie sich: Abstand der Patchstruktur überall wenigstens eine halbe Wellenlänge bis zur Boxwand...).



**Bild 32:**  
Ein rechteckiges Patch mit Speisung von der Unterseite her zeigt eine fast vorbildliche Stromverteilung mit eindeutig linearer Polarisation

c) Es wurde zur Anfertigung der Platine ein noch vorhandenes Reststück Basismaterial verwendet, das aus einer anderen Fertigungscharge mit leichter Abweichung der Werkstoffdaten stammt.

Na ja, so lernt man eben dazu und legt sich schließlich mit den endgültigen Abmessungen etwa in die Mitte zwischen Version 2 (Resonanz bei 2420 MHz) und Version 3 (Resonanz bei 2470 MHz). Bitte immer im Auge behalten: man bewegt sich im Bereich zwischen -1 % und +1 % Abweichung, und da geht es sehr sensibel zu.

## 5. Die runde Antenne

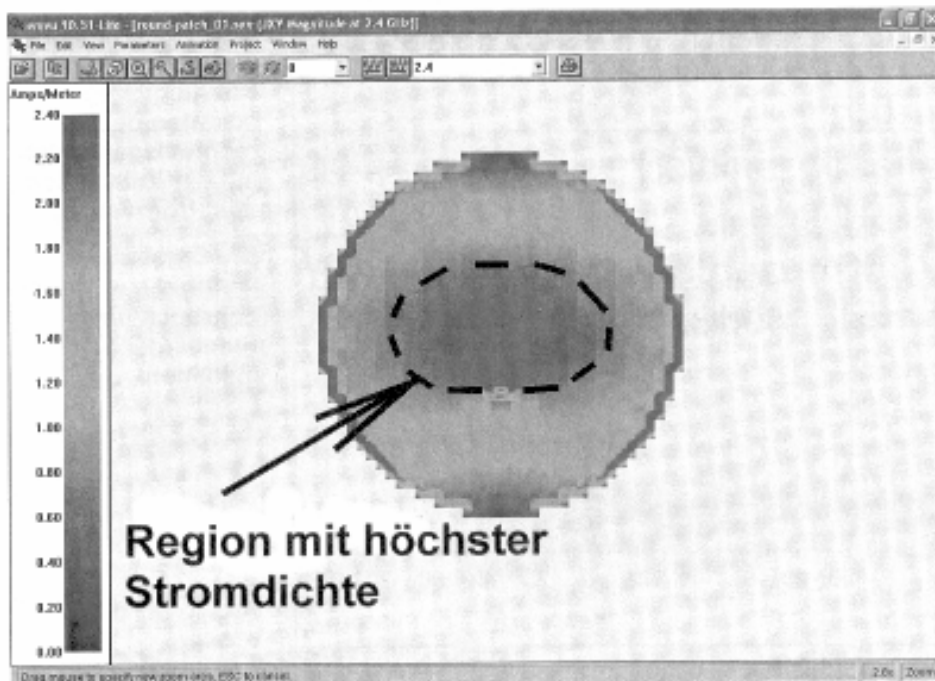
Dieses etwas eigenartige Gebilde ist sehr wohl resonanzfähig und damit als Antenne brauchbar, aber man fragt sich zu Recht nach den Vorteilen gegenüber den bisher verwendeten Konstruktionen. Letztlich bleibt nur das leichtere Handling übrig (...man bleibt weniger leicht daran hängen als an den

scharfkantigen rechteckigen Versionen...), denn es gibt keine elektrischen Vorteile, eher leichte Nachteile. Die ahnt man aber nur, wenn man die Stromverteilung bei Resonanz auf einem rechteckigen Patch (**Bild 32**) mit derjenigen dieser runden Antenne (**Bild 33**) vergleicht:

Beim rechteckigen Patch erhält man über der gesamten Breite von links bis rechts immer dieselbe und geradezu vorbildliche Stromverteilung: entlang der unteren und oberen Patchkante ist der Strom Null und genau auf der Mittellinie liegt das Strommaximum (bei dem die Spannung Null ist). Das führt zu sehr sauberen linearen Polarisationsverhältnissen, denn in diesem Fall verlaufen die elektrischen Feldlinien nur genau parallel zur linken bzw. rechten Patchkante und stehen folglich senkrecht auf der unteren und oberen Patchkante. Baut man so eine Antenne in Quadratform, kann man jederzeit zwei um 90 Grad versetzte Speiseleitungen anbringen. So etwas ist z. B. beim Senden für zirkulare Polarisation gut.

*...Fortsetzung auf Seite 35!*





**Bild 33:**  
Das runde Patch gibt bei Voraussagen im Vergleich zu Bild 32 eher Rätsel auf

... Fortsetzung von S. 30

Oder es kann beim Empfang zur sauberen Trennung von vertikal und horizontal polarisierten Feldern verwendet werden (was man in nahezu jedem Sat-LNB nach Abnahme des Gehäusedeckels nachprüfen und bewundern kann!).

Ganz anders sieht es dagegen bei der runden Antenne aus. Ihr Strommaximum in Bild 33 ähnelt mehr einem waagrecht liegenden Ei, das schon vor dem Platinenrand aufhört und deshalb könnten auch Feldanteile mit etwas geänderter Ausrichtung existieren. Damit wäre sie etwas unempfindlicher beim Ausrichten in Bezug auf die Polarisation.

Leider ist bei SONNETLite immer noch der „Farfield-Viewer“ für die Darstellung der Strahlungscharakteristik und die Ausgabe der Antennen-Richtdiagramme gesperrt, sonst ließe sich diese Frage auf der Stelle durch die Simulation der Fernfelder beantworten.

Deshalb wurde in üblicher Weise (...von Funkamateure zu Funkamateure) um profes-

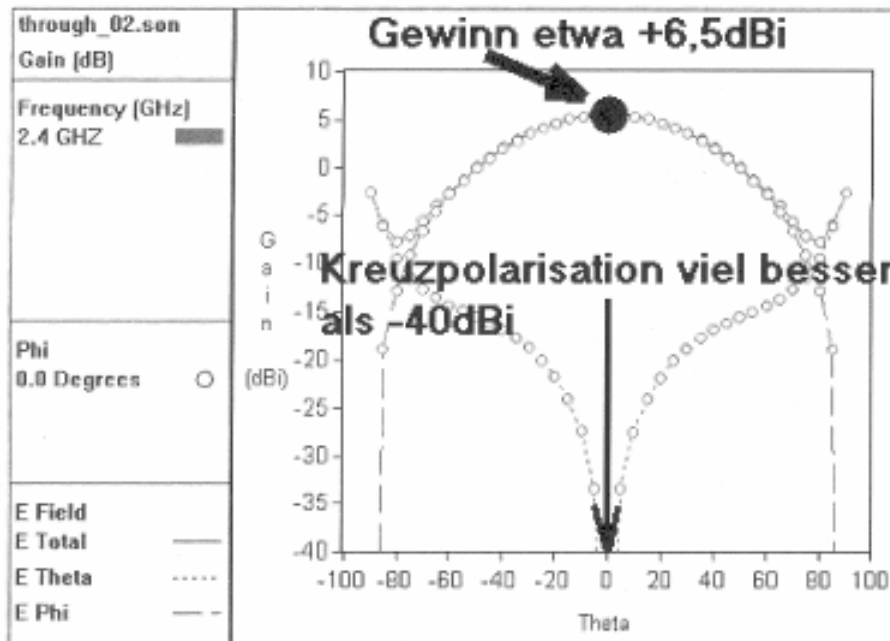
sionelle Hilfe beim deutschen SONNET-Vertreter (Dr. Volker Mühlhaus in Witten) gebeten. Er war spontan bereit, die rechteckige Antennenversion 1 mit der runden Antenne bezüglich der Strahlungsdiagramme zu vergleichen und seine Simulationsergebnisse mit der SONNET-Vollversion sieht man in **Bild 34** bzw. **Bild 35**:

Die runde Antenne weist vor allem weniger Gewinn auf. Aber bezüglich der Vermutung mit der schlechteren Kreuzpolarisation beim runden Exemplar kann Entwarnung gegeben werden: der Effekt ist zwar da, aber so minimal, dass er in der Praxis keine Rolle spielt. Folglich kann man bei beiden Antennenversion beruhigt von „linearer Polarisation“ sprechen.

Also geht es weiter und man baut ein Muster einer solchen runden Sendescheibe.

### 5.1. Erster Entwurf

Vorab gibt es gleich eine bittere Pille: die runde Struktur erfordert einen deutlich höheren Analyseaufwand, deshalb überschreitet man

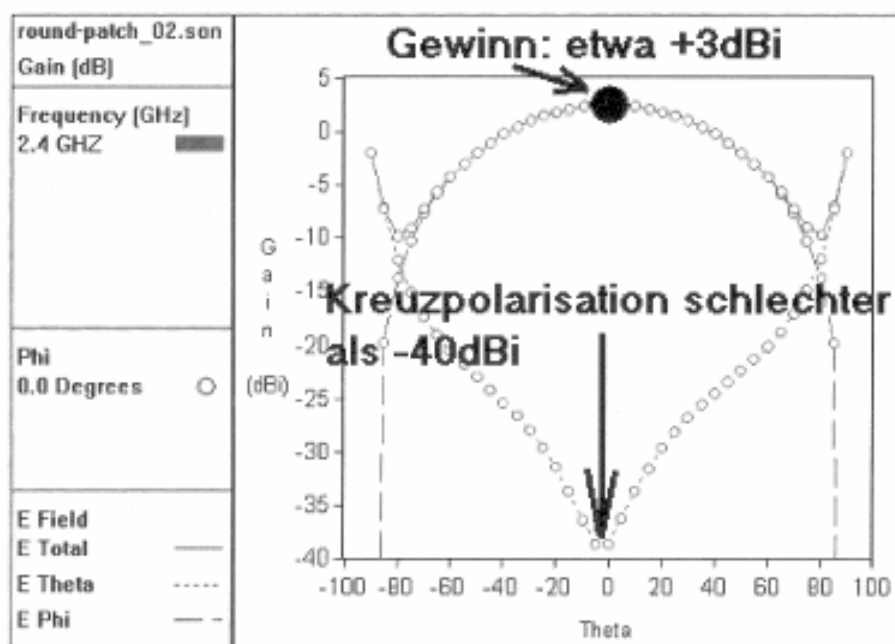


**Bild 34:** Simulation der Strahlungseigenschaften beim rechteckigen Patch mit der Vollversion des Programms.

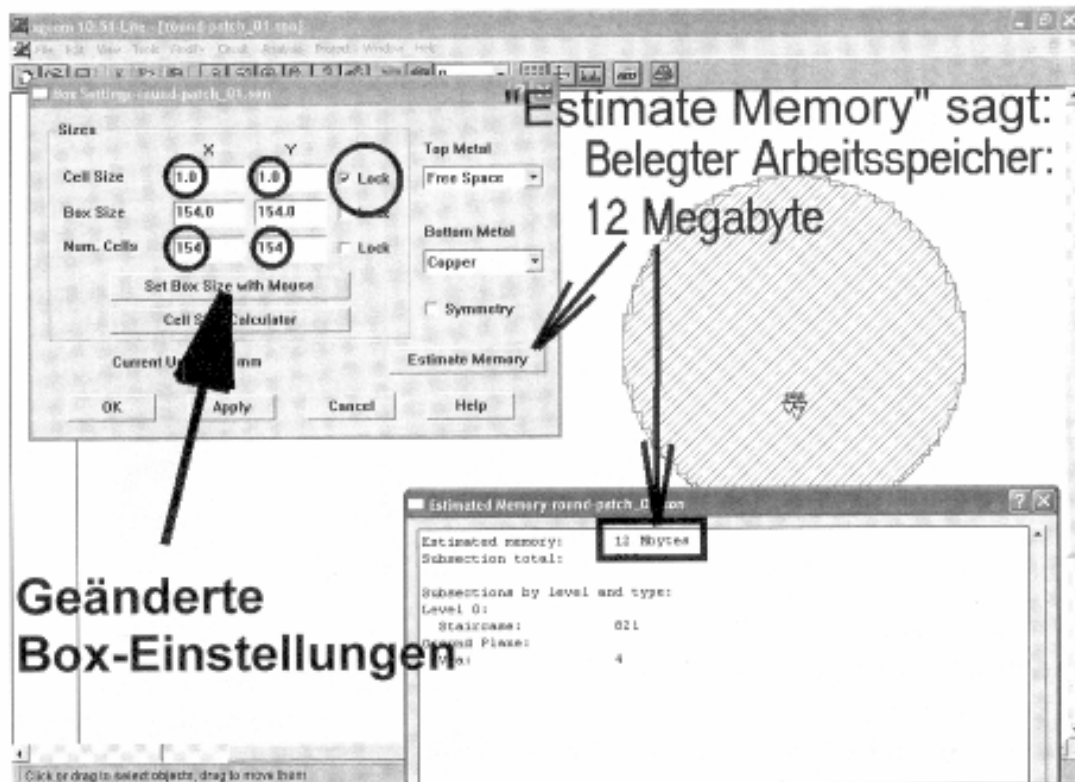
Die Ergebnisse könnten aus einem Lehrbuch für Patchantennen stammen!

mit den bisherigen Box-Einstellungen glatt die Speichergrenze von 16 Megabyte und handelt sich einen entsprechenden Simulationsabbruch ein. Erst wenn man auf eine Zellengröße von 1 mm x 1 mm übergeht, zeigt ein Klick auf „Estimate Memory“, dass

SONNET sich nun mit 12 Megabyte belegtem Speicher zufrieden gibt. In **Bild 36** sind diese Details sowie die erforderlichen neuen Box-Einstellungen zu sehen, aber dazu ist noch eine Bemerkung nötig:



**Bild 35:** Beim Betrachten der Strahlungseigenschaften des runden Patches ist man nicht wirklich begeistert...



**Bild 36:** Hier finden sich nicht nur die geänderten Boxeinstellungen, sondern auch die Abschätzung des erforderlichen Arbeitsspeichers (vor der Simulation)

Der benötigte Arbeitsspeicher kann mit „Estimate Memory“ erst dann ermittelt werden, wenn die komplette Antennenstruktur fertig gezeichnet und korrekt als Projekt gespeichert ist!

Deshalb ist wohl eine Experimentierphase unvermeidlich und es folgen deshalb noch einige Informationen für die Zeichenarbeit:

- die kreisförmige Struktur wird mit der „Donut“-Funktion erstellt. **Bild 37** liefert die erforderlichen Informationen, wie man damit „ausgefüllte Kreise“ zeichnet.
- Der tiefste Punkt des Patchumfanges auf dem Bildschirm bildet den Referenzpunkt.
- Nach einigen Versuchen landet man bei einem Patchdurchmesser von 38 mm (Radius = 19 mm) und einem Speisepunkt-Abstand

von 13 mm (von der unteren Patchkante aus gemessen).

d) Am Speisepunkt muss wieder ein „Via“ angebracht werden, das anschließend mit einem Standard-Port versehen wird.

Das Simulationsergebnis in **Bild 38** zeigt als Kompromiss die beste Annäherung an die gegebenen Forderungen, denn durch die großen Sprünge bei den Zell-Maßen  $\Delta x$  und  $\Delta y$  von je 1 mm ergeben sich gleich relativ große Änderungen.

Damit ist es schon wieder so weit: die nächste Platine ist fällig. Sie ist in **Bild 39** zu sehen und weist einen Durchmesser von 70 mm auf. Nun darf man auf die Messergebnisse dieses doch recht „grobe“ Entwurfs gespannt sein. Er wird dann anschließend wie im vorigen Beispiel optimiert.

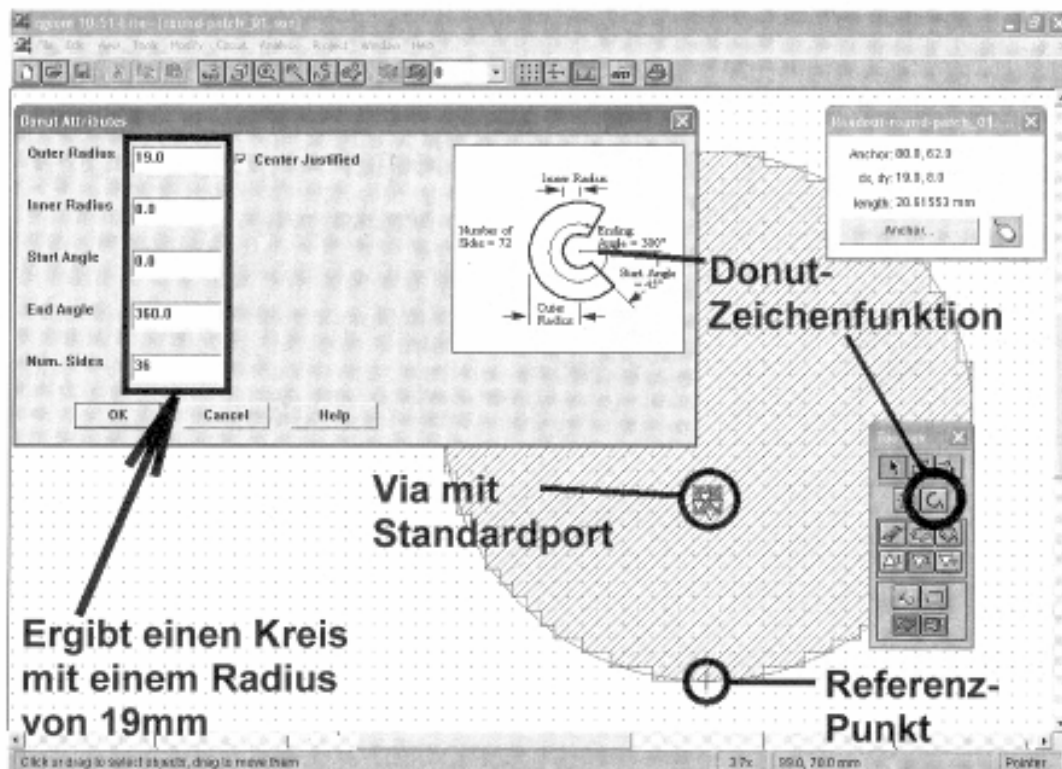


Bild 37: Einige Hilfen zum Zeichnen des kreisförmigen Patches: die Donut-Funktion, der Referenzpunkt, der Speisepunkt mit Via und Standard-Port...

## 5.2. Messergebnisse und Fertig-Entwicklung

Der Netzwerk-Analysator (mit Polardisplay und zusätzlich angeschlossener Mikrowellen-Frequenzzähler) sagt:

Die Resonanz liegt bei  $f = 2374$  MHz, wo der minimale Reflektionsfaktor  $r = +17\%$  beträgt.

Bitte nicht erschrecken: das ist lediglich eine Frequenzabweichung von nur ca. 3 % von 2450 MHz! Also arbeitet man wieder eine Optimierungsrunde ab und vereinfacht sich dabei die Arbeit etwas.

### 1. Schritt:

Der gemessene Reflektionsfaktor entspricht einem Eingangswiderstand von

$$R_{\text{ein}} = 50\Omega \cdot \frac{1+0,17}{1-0,17} = 70,5\Omega$$

und der zugehörige Messpunkt ist

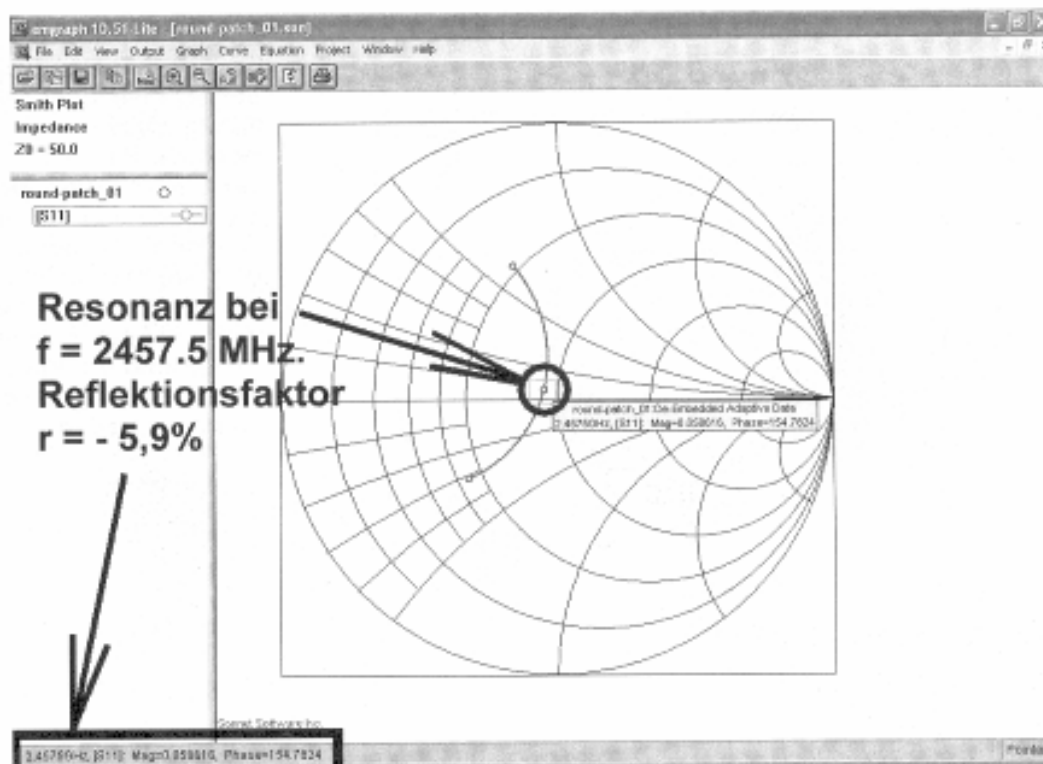
$19 \text{ mm} - 13 \text{ mm} = 6 \text{ mm}$   
vom Kreismittelpunkt entfernt.

### 2. Schritt:

Aufgrund der etwas eigenartigen und schwer berechenbaren Strom- und Spannungsverteilung auf dieser Patchform betrachtet man die Spannungsänderungen bei der nötigen geringen Verschiebung des Speisepunktes einfach als linear. Dann gilt für die Widerstände, wenn sich die Spannungen linear mit dem Abstand vom Mittelpunkt ändern würden:

$$\frac{50\Omega}{70,5\Omega} = \left( \frac{x}{6\text{mm}} \right)^2$$

Stellt man nach „x“ um, erhält man anschließend den neuen Speisepunkt - diesmal aber vom Kreiszentrum aus gemessen:



**Bild 38: Besser geht es leider nicht! Die vergrößerten Zellenabmessungen (wegen des begrenzten Arbeitsspeichers) verhindern eine bessere Auflösung und genauere Simulation**

$$x = 6\text{mm} \cdot \sqrt{\frac{50\Omega}{70,5\Omega}} = 5,05\text{mm}$$

**3. Schritt:**

Nun bleibt nur noch die Korrektur der Resonanzfrequenz übrig und dazu gehört der Faktor

$$\frac{2374\text{MHz}}{2450\text{MHz}} = 0,9689795$$

Das ergibt einen neuen Kreisradius von

$$19\text{ mm} \cdot 0,9689795 = 18,41\text{ mm}$$

und einen neuen Speisepunkt-Abstand (vom Zentrum aus gemessen) von

$$5,05\text{ mm} \cdot 0,9689795 = 4,89\text{ mm}$$

**4. Schritt:**

Erstellen eines neuen Platinenlayouts, Ätzen der Platine, Anbringen der Speisepunkt-

Bohrung, Freisenken der Bohrung auf der Masseseite, um einen Kurzschluss vom Mittelleiter nach Masse zu vermeiden, Anlöten der SMA-Buchse, Messung mit dem Netzwerk-Analysator....

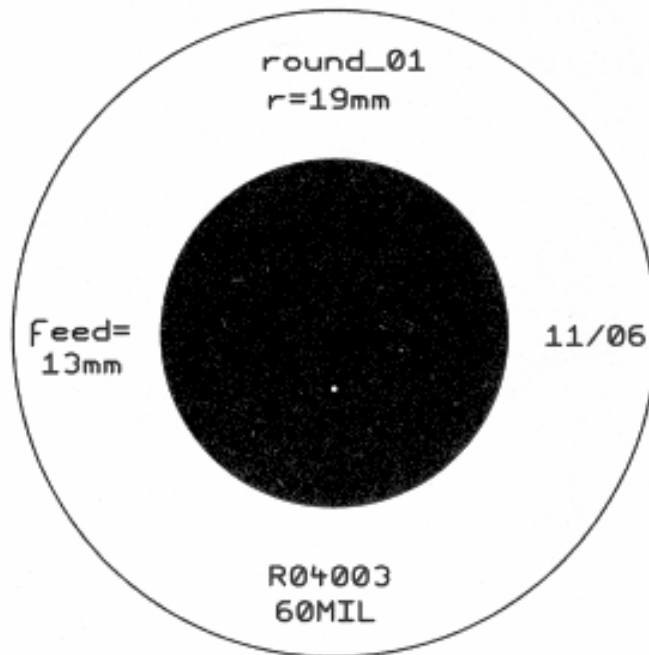
Hier das Ergebnis: Reflektion etwa +1 % bei 2465 MHz. Das sind nur +0,6 % Frequenzabweichung und in einem weiteren Durchgang (= Vergrößern der Patchmaße um den Faktor 2465 MHz / 2450 MHz = 1,0061) ist auch bei dieser Antenne das vorgegebene Ziel erreicht.

---

**6. Zusammenfassung**

---

Die Musterantennen 1 und 3 arbeiteten beim Praxistest sofort zufriedenstellend an den



**Bild 39:**  
 Endlich mal eine Platine, bei der man nicht ewig tüfteln muss.  
 Noch ein Hinweis: der Durchmesser für die Feedpointbohrung (= Innenleiter der SMA-Buchse) beträgt im Layout nur 0,6 mm, um ein Verlaufen des Bohrers zu verhindern und so den Punkt möglichst genau zu treffen

WLAN-Accesspoints von Freunden, Schülern und Bekannten. Lediglich der Übergang von der an jeder Antenne angelöteten SMA-Buchse zu dem bei manchen WLAN-Einrichtungen üblich gewordenen Reverse-Polarity-SMA (= Stecker- und Buchseninnenleben in der Konstruktion vertauscht!) machte zusätzliche Arbeit.

Die Version 1 wurde von allen Anwendern vorgezogen, weshalb eine Kleinserie von 12 Stück aufgelegt wurde. Hier gab es eine weitere kleine Überraschung: 10 Antennen lagen in ihrer Resonanz zwischen 2445 und 2450 MHz, das ist normale Serienstreuung. Aber bei zwei Exemplaren war eine Resonanzfrequenz von lediglich 2440 MHz zu messen - da zuckt man als Entwickler doch zusammen!

Äußerlich war nichts zu erkennen, aber die Ursache war schnell gefunden: die beiden abweichenden Exemplare wurden aus der neuesten und frisch beschafften Charge des Leiterplattenmaterials gefertigt. Offensichtlich gibt es beim  $\epsilon_r$  des Leiterplattenmaterials

Unterschiede zwischen den einzelnen Chargen, was aber alles in der zulässigen Toleranz-Bandbreite liegt. Solche Abweichungen sind dann eben die leidigen Dinge, die den Entwickler einholen, wenn sich in seinem Kopf schon längst die nächsten und übernächsten Projekte im Kreis drehen. In einem solchen Fall muss man darüber nachdenken, ob man nicht doch die Resonanzfrequenz nochmals um ca. 4 MHz anheben sollte.

Trotzdem: es hat Spaß gemacht und das Arbeiten mit kostenloser moderner Simulations- und CAD-Software ist eine Freude und Motivation, die nicht mit Geld aufzuwiegen ist. Zusammen mit den in diesem Artikel offen-gelegten Überlegungen und Rechnungen hofft der Autor, auch andere Leute mit der Freude am anspruchsvollen Entwickeln anzustecken.

Besonderer Dank gilt den Firmen, die solche kostenlosen Programmpakete, wie das verwendete SONNETLite zur Verfügung stellen - und so hilfsbereiten Fachleuten wie Dr. Mühl-



haus (= SONNET-Deutschland), die spontan über auftauchende Hürden weiterhelfen und sich am Telefon als kompetente Diskussionspartner zur Aufdeckung der eigenen Denkfehler erweisen.

Dank geht natürlich auch an Herrn Schulze-Höing, Firma MAURITZ in Hamburg, der immer wieder für den nötigen kostenlosen Nachschub an ROGERS R04003-Leiterplattenmaterial für die Entwicklungsarbeit sorgte.

Ein letztes Dankeschön verdient schließlich mein Freund, Kollege und Platinenmacher Martin Merkel. Ohne dessen unendliche Geduld wäre sowohl die Muster- wie auch die Serienfertigung der Antennen „in Handarbeit“ nicht möglich gewesen und dieser Artikel hätte wohl nicht das Licht der Welt erblicken können.

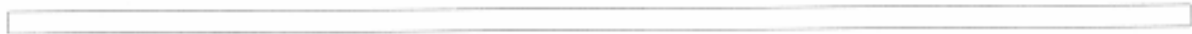
## 7. Literatur

[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

[4] Gunthard Kraus, Praxisprojekt: „Robuste und nachbausichere Patchantennen für den WLAN-Bereich bei 2,45 GHz, Teil 1;“  
UKW-Berichte 3/2006, Seiten 143 - 160



## Hinweise und Verbesserungen

zum Artikel:

### **Eine 400 W-Endstufe für das 2-m-Band**

von Konrad Hupfer, DJ 1 EE

aus Heft 4/2006, Seiten 239 - 248

In den Schaltbildern Bild 1 und 6 sind die Anschlüsse der Netzwerke NW2 bzw. NW3 jeweils gemeinsam an den Innenleiter des transformierenden Koaxkabels angeschlossen - das ist FALSCH!

Richtig ist vielmehr (wie in Bild 10) je 1 x an den Innenleiter und 1 x an Masse.

Redaktion