



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

B 21 956

UKWberichte

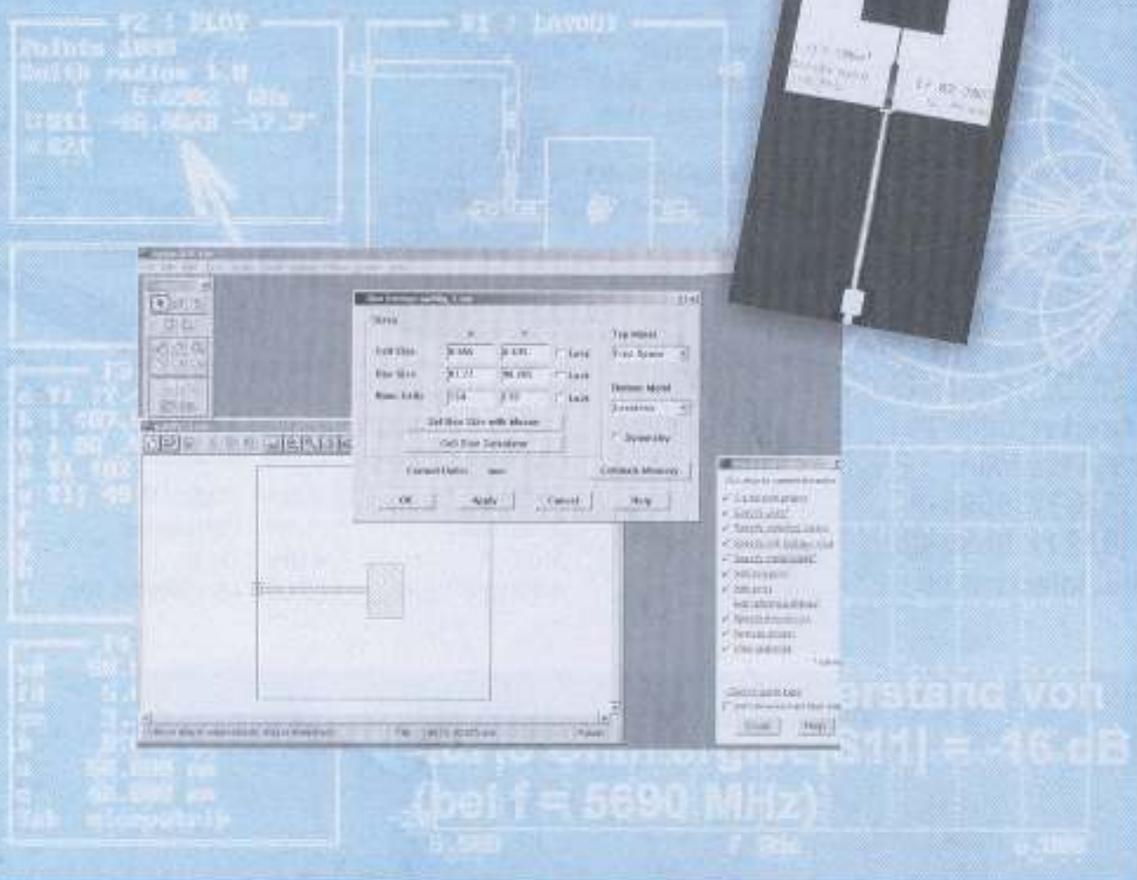
43. Jahrgang

3. Quartal

Heft 3/2003

€ 5,50

Praxisprojekt:
Entwicklung einer Patch-Antenne für 5,8 GHz
von Gunthard Kraus, DG 8 GB





Gunthard Kraus, DG 8 GB

Praxisprojekt: Patchantenne für 5,8 GHz

In der Reihe „kleine Praxisprojekte“ soll diesmal die erfolgreiche Entwicklung einer Patchantenne für das ISM-Band bei 5,8 GHz vorgestellt werden. Sie ersetzt beispielsweise die Stummelantenne des verwendeten handelsüblichen ISM-Moduls.

1. Einsatzgebiet

Bei der Entwicklung einer Patchantenne für das ISM-Band bei 5,8 GHz ging es um die Videoüberwachung im neuen Tettnanger Elektronikmuseum über 2 Stockwerke hinweg. Da im historischen Museumsgebäude für eine Kabelverbindung keine Löcher gebohrt bzw. Schlitze geklopft werden durften, wurde einfach die Wand des gegenüberliegenden Hauses als Reflektor für das 5,8 GHz-Signal verwendet und die Patchantenne darauf gerichtet. Um das Ergebnis gleich vorweg zu nehmen, es funktionierte erwartungsgemäß gut.

2. Vorgaben für die Antenne

Sucht man nach dem Frequenzplan für das 5,8 GHz-ISM-Band (= Industrial- + Scientific- + Medicine Band) im Internet, so findet man folgende Information:

Es sind im 5,8 GHz-ISM-Band 16 Kanäle mit einem gegenseitigen Abstand von 9 MHz vorgesehen. Zu Kanal 1 gehört die Mittenfrequenz 5732 MHz, zu Kanal 16 die Frequenz 5867 MHz.

Die Antenne muss also eine Eigenresonanzfrequenz von 5800 MHz und eine Bandbreite von ca. 140 MHz (= 2,4%) aufweisen. Der Eingangswiderstand sei 50Ω , als Zuleitung wird ein Semirigid-Kabel mit SMA-Stecker angelötet. Als Platinenwerkstoff soll das mechanisch sehr stabile und gut bearbeitbare Material „Rogers R04003“ mit folgenden Daten eingesetzt werden:

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= 3,38 \\ \text{Platindicke} &= 32 \text{ MIL} = 0,813 \text{ mm} \end{aligned}$$

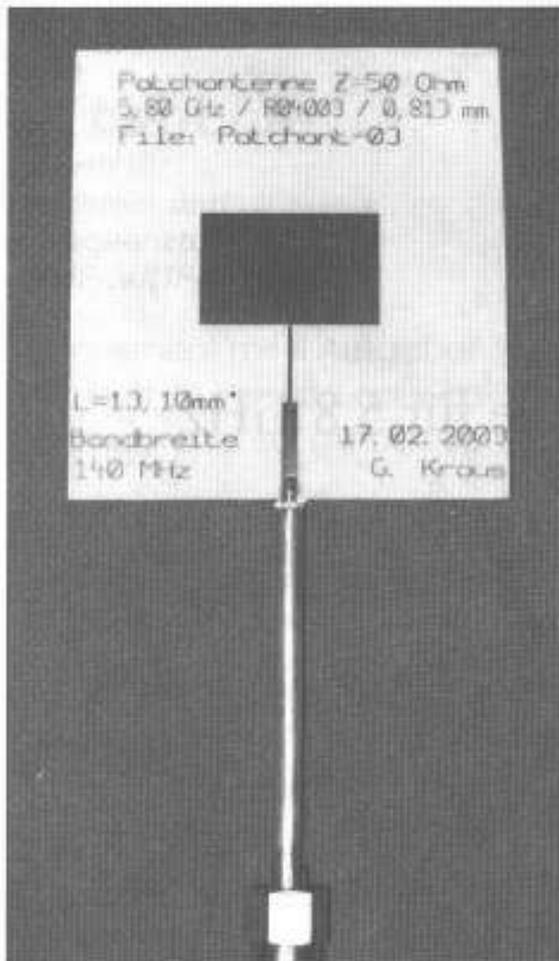


Bild 1: So sieht das Endprodukt einer Patch-Antenne für 5,8 GHz aus. Allerdings wird vor dem Einsatz noch das Semirigid-Kabel im Bogen von 90 Grad abgewinkelt

Verlustfaktor = 0,001
Kupferrauhe = 35 Mikrometer

Die Transformation des Antennen-Strahlungswiderstandes auf die geforderten 50 Ω nimmt eine $\lambda/4$ -Leitung vor. Die Platinengröße soll etwa 50 mm x 50 mm betragen und deshalb ist noch eine kurze 50 Ω -Mikrostreifen-Leitung von der Transformationsleitung bis zum Kabelanschluss auf der Platine erforderlich.

Das fertige Produkt zeigt **Bild 1** und verdeutlicht die gewählte praktische Ausführung.

3. Entwicklungsablauf

3.1. Design-Prozedur

Die Grundlagen für das Vorgehen findet man in einer Veröffentlichung der UKW-Berichte zu diesem Thema [1], [2]. Doch zunächst sollte man sich, z.B. aus dem Internet, die Beflegung des 5,8 GHz-ISM-Bandes holen:

16 Kanäle mit jeweils 9 MHz Abstand. Channel 1 weist eine Mittenfrequenz von 5732 MHz, Channel 16 eine solche von 5867 MHz auf.

Die Antenne soll also eine Resonanzfrequenz von 5800 MHz und eine Bandbreite von ca. 140 MHz besitzen. Das ergibt eine relative Bandbreite von 2,4 %. Also wurde mit dem Programm „patch16“ aus dem Internet etwas experimentiert und damit ein erster Entwurf mit folgenden Eigenschaften realisiert:

Die Mittenfrequenz beträgt genau 5800 MHz, die Bandbreite wurde absichtlich etwas vergrößert und auf 2,9 % festgelegt.

Alle vorgegebenen oder berechneten Eigenschaften der Antenne sind in den **Bildern 2 und 3** enthalten. Die für die folgende Arbeit mit PUFF benötigten Werte muss man erst von Zoll in Millimeter umrechnen:

These are the design parameters:

Length (L) = .5271 inches
Width (W) = .8 inches
Height (H) = .032 inches
Dielectric Constant (D) = 3.38
Loss Tangent (T) = .001
Feedpoint Distance (F) = 8 inches

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

Bild 2: Diese Eingabedaten benötigt das Programm „Patch16“



```

The Resonant Frequency is 5.800 GHz
Qo is 26.0

The Edge Radiation Resistance is 142.42 ohms
Zc of Quarter-wave transformer is 84.4 ohms
Approx. width of the Quarter-wave transformer is 0.028 inches
Length of Quarter-wave transformer is 0.321 inches at the Resonant Freq.

Input Resistance at probe location is 142.42 ohms

The 2:1 USWR Bandwidth is 2.9%
Upper Frequency Limit = 5.883 GHz
Lower Frequency Limit = 5.716 GHz

Press 'ENTER' to continue: █
    
```

Bild 3: In dieser einfachen, aber übersichtlichen Form werden die Eigenschaften der simulierten Antenne ausgegeben

Patchbreite = 20,32 mm
 Patchlänge = 13,39 mm
 Gesamter Strahlungswiderstand = 142,4 Ω,
 das ergibt an jeder Patchkante 284,8 Ω.

Nun kann mit einem Text-Editor das „setup-File“ von PUFF21 geöffnet werden, um die vorhin aufgeführten R04003-Werkstoff- und

Platinendaten einzutragen. Anschließend wird PUFF gestartet (. bitte mit der Protected Mode-Version arbeiten und „puffp.exe“ aufrufen..) und das Patch als verlustbehaftete Transmission-Line mit großer Breite modelliert. An beiden Patch-Kanten werden sofort die beiden Strahlungswiderstände angeord-

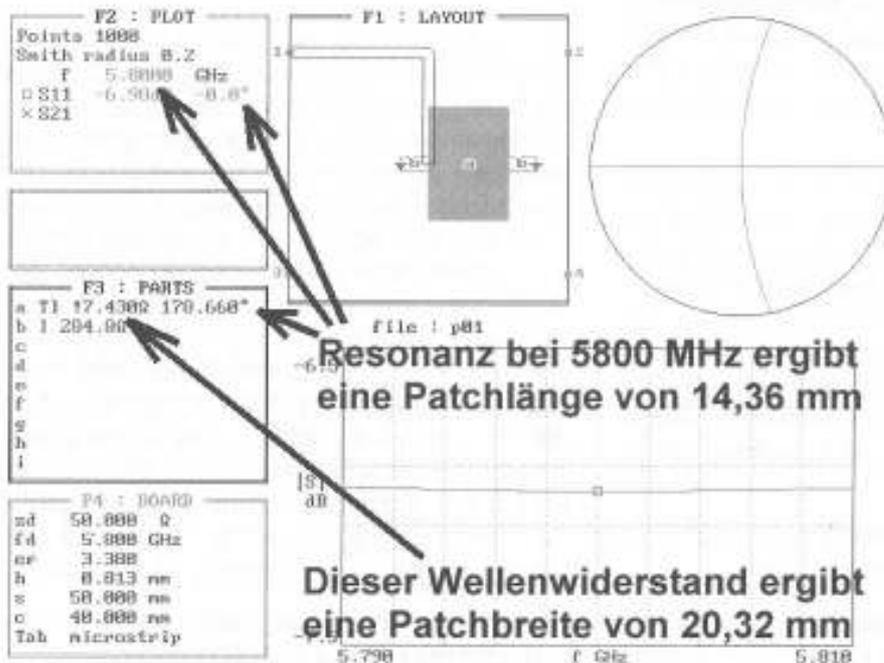


Bild 4: So wird die „Ersatz- Mikrostreifen-Leitung“ für das strahlende Patch in PUFF simuliert



Bild 5:
Mit der Transformationsleitung bringt man den Eingangswiderstand genau auf 50Ω bei 5800 MHz

net und die Mittenfrequenz auf 5,8 GHz eingestellt.

Und so geht es weiter:

a. Das Ausrufezeichen hinter der Eingabe „TL“ in Feld F3 wird zuerst weggelassen und solange mit dem Wellenwiderstand der Leitung experimentiert, bis sich (nach der Eingabe des Gleichheitszeichens) eine Breite $w = 20,32$ mm einstellt.

b. Nun wird das Ausrufezeichen wieder eingefügt und solange die elektrische Länge der Leitung variiert, bis die Anordnung möglichst genau in Resonanz ist. Das ist leicht daran zu erkennen, dass dann der Phasenwinkel von S11 exakt Null Grad beträgt. Bitte aber dazu einen möglichst kleinen gesweepeten Frequenzbereich wählen und auch beim Amplitudenbereich für $|S_{11}|$ die höchste mögliche Auflösung sorgen.

Der Vorgang wird in **Bild 4** verdeutlicht; es liefert auch gleich die nötigen Daten:

Zu einer Patchbreite von 20,32 mm gehört eine Mikrostreifen-Leitung mit einem Wellen-

widerstand von $7,43 \Omega$ bei tiefen Frequenzen. Eine mechanische Länge von 14,36 mm ergibt dann genau $\lambda/2$ als elektrische Länge bei 5,8 GHz.

Hinweis:

Wer sich nun über die große Differenz zwischen diesem Längenwert von 14,36 mm und der „patch16“-Behauptung von $L = 13,39$ mm wundert, dem sei das Geheimnis verraten. Zuerst muss das Patch um die Open-End-Extension an beiden Seiten gekürzt werden. Später wird nochmals darauf zurückgekommen, aber das Ergebnis sei vorweggenommen: es sind 0,41 mm auf jeder Seite. Damit sind es nur noch $14,36 \text{ mm} - 2 \times 0,41 \text{ mm} = 13,53$ mm. Und wenn man noch den zufällig in der Fachliteratur entdeckten Satz beherzigt: „...der Unterschied zwischen Patch-Resonanz und elektrischer Länge der entsprechenden $\lambda/2$ -Mikrostreifen-Leitung beträgt etwa 1 %...“, dann kommt man auf $0,99 \times (13,53 \text{ mm}) = 13,40$ mm.

Nun gilt es, den Eingangswiderstand der Anordnung mit Hilfe einer $\lambda/4$ -Transformations-

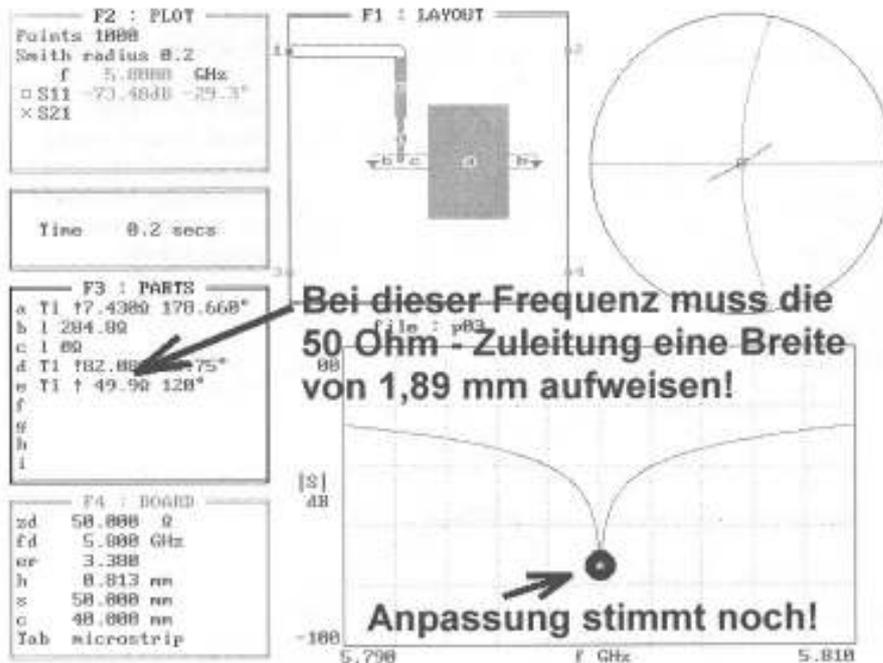


Bild 6: Die Anordnung wird noch durch eine 50 Ω-Feedleitung komplettiert

leitung auf genau 50 Ω zu bringen. In **Bild 5** ist das bereits erfolgt und die nötigen Leitungsdaten lauten:

Leitungslänge = 8,18 mm /
Leitungsbreite = 0,765 mm

Versieht man nun die Anordnung noch mit einer 50 Ω-Zuleitung (erforderliche Länge etwa 11 mm bis zum Platinenrand), dann erhält man **Bild 6**. Daraus lässt sich die Breite der Zuleitung (wieder nach dem Entfernen des Ausrufezeichens hinter „TL“ und dem Druck auf das Gleichheitszeichen...) zu $w = 1,89$ mm bestimmen.

3.2. Die erste Platine

Als erstes gilt es, die „Open-End-Extensions“ für die Mikrostreifen-Leitung zu ermitteln. Am schnellsten geht das immer noch mit dem entsprechenden Diagramm aus dem PUFF-Handbuch.

Bild 7 zeigt die nötige Prozedur und liefert auch die benötigten „Rohdaten“:

Beim Patch mit $Z = 7,4 \Omega$ sind es 51 % der Platinendicke von 0,813 mm = 0,42 mm
Bei der 50 Ω-Zuleitung sind es 45 % der Platinendicke von 0,813 mm = 0,37 mm

Da die Transformationsleitung den höchsten Wellenwiderstand und damit die geringste Breite aufweist, muss sie an beiden Enden um folgende Werte verlängert werden (die Korrekturformeln finden sich auf derselben Seite im PUFF-Handbuch):

a. An der Patchseite gilt:

$$\Delta L = \left(1 - \frac{w2}{w1}\right) \cdot 0,42 \text{ mm} =$$

$$\left(1 - \frac{0,77 \text{ mm}}{20,32 \text{ mm}}\right) \cdot 0,42 \text{ mm} = 0,41 \text{ mm}$$

b. An der Feedseite gilt:

$$\Delta L = \left(1 - \frac{w2}{w3}\right) \cdot 0,37 \text{ mm} =$$

$$\left(1 - \frac{0,77 \text{ mm}}{1,89 \text{ mm}}\right) \cdot 0,37 \text{ mm} = 0,22 \text{ mm}$$

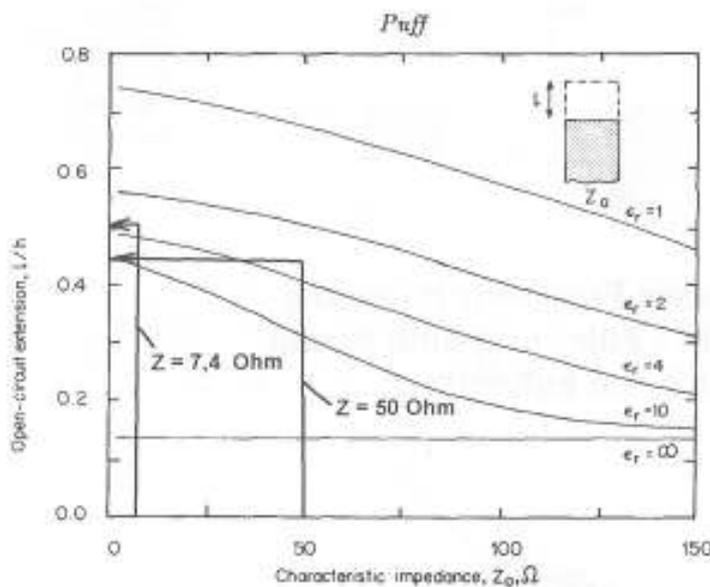


Figure 7.2 The open-circuit end correction in microstrip, plotted from (7.2). The artwork length correction in a parts list should be negative.

Bild 7:
Bestimmung der
Open-End-Extension.
Das PUFF-Handbuch
bietet immer noch
die einfachste und
schnellste Methode
bei ausreichender
Genauigkeit

Deshalb ist bei der Transformationsleitung schließlich eine Länge von $8,18 \text{ mm} + 0,41 \text{ mm} + 0,22 \text{ mm} = 8,81 \text{ mm}$ zu wählen, ihre Breite beträgt $0,77 \text{ mm}$.

Beim Patch arbeitet man am besten mit der vom Programm „Patch16“ gelieferten Länge von $13,39 \text{ mm}$, die Patchbreite sei $20,32 \text{ mm}$.

Im Leiterplatten-CAD-Programm wird das Patch nun auf der gewählten Platine mit den Abmessungen $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ zentriert, die Transformationsleitung angesetzt und schließlich die Feedleitung mit einer Breite von $1,89 \text{ mm}$ bis zur Platinkante geführt. Bitte nochmals Bild 1 anschauen, dort ist das alles sehr genau zu erkennen.

Nun muss noch ein Semirigid-Kabel mit einem SMA-Stecker auf der anderen Seite möglichst ohne elektrische Stoßstelle mit der Platine verbunden werden. Die nötigen Informationen, wie dieses Problem gelöst wurde, liefert **Bild 8**:

a.) Zunächst wird das Kabel abgesägt und die Schnittstelle sorgfältig winklig und eben

gefeilt. Natürlich darf das Entgraten nicht vergessen werden.

b.) Mit einer feinen Säge (z. B. einer Laubsäge) wird nun ein Längsschnitt exakt entlang dem Mittelleiter von einigen Millimetern Länge vorgenommen.

c.) Mit einem zweiten, vorsichtigen „Querschnitt“ legt man nun den Mittelleiter vollständig frei und entfernt darunter auch die Teflon-Innenisolation.

d.) Nun wird die Platine in diesen Schnitt geschoben und der Mittelleiter mit der 50Ω -Mikrostreifen-Feedleitung verlötet. Ebenso lötet man an der Unterseite sorgfältig den verbliebenen Rest des Kabelmantels an.

3.3. Auswertung der Messergebnisse und neuer Entwurf

Bei der Untersuchung der Antenne mit dem Network-Analyzer hp 8410 sowie dem Mikrowellen-Zählersystem hp 5245L samt Transferszillator hp 5257 fand sich die Resonanz

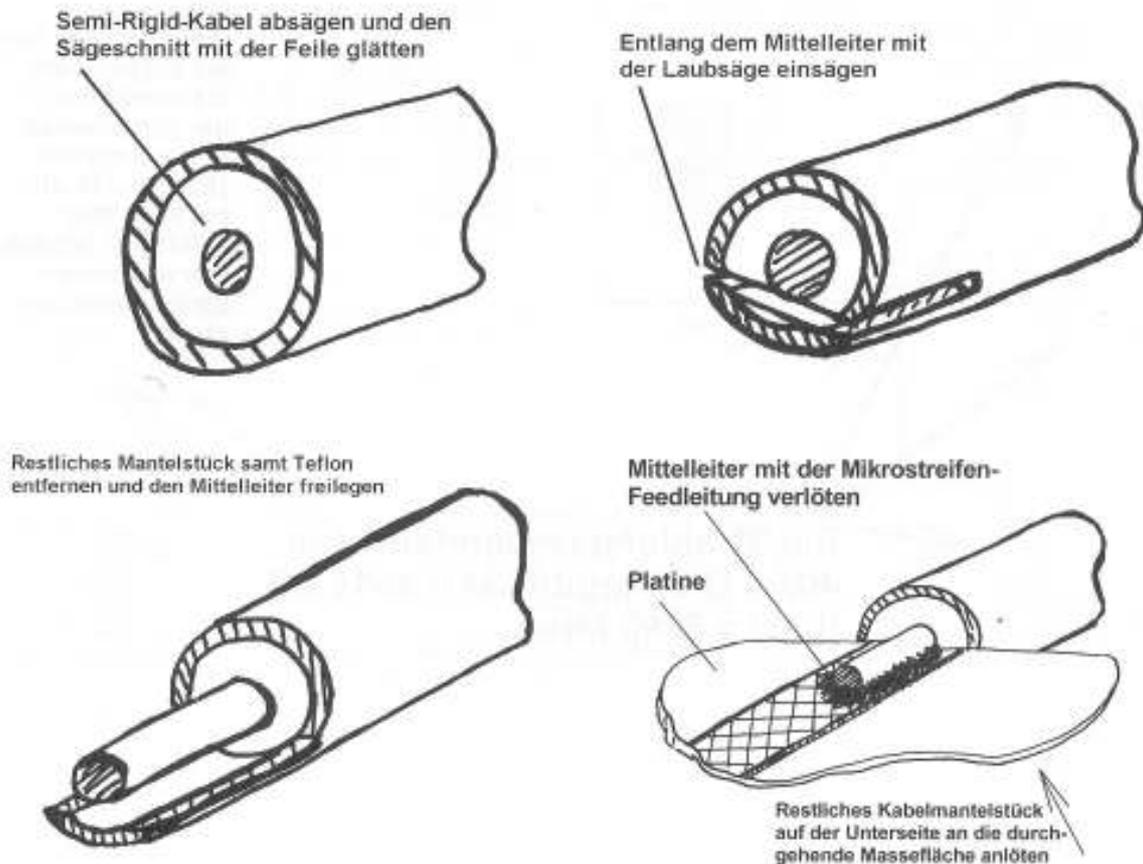


Bild 8: Sehr aufwendig, aber ebenso wirkungsvoll: die einzelnen Schritte beim stoßstellenarmen Anschluss des Semirigid-Kabels an die Feedleitung auf der Platine

bei 5690 MHz mit einem Wert von $|S_{11}| = -16$ dB. Eine genauere Untersuchung mit dem Polar-Display zeigte, dass hierbei der Eingangswiderstand größer als der Systemwiderstand von 50Ω ist und folglich der Strahlungswiderstand bei einem höheren Wert liegen muss. Diese Erkenntnisse wurden sofort in die PUFF-Simulation umgesetzt und es zeigte sich, dass dazu an jeder Patchkante in Wirklichkeit ein Widerstand von $407,5 \Omega$ anzunehmen ist (**Bild 9**).

Man darf nicht versäumen, sich sofort in der Bauteil-Liste F3 die für diese Frequenz von 5690 MHz erforderliche Patchlänge anzeigen zu lassen, sie beträgt $L = 14,65$ mm.

Nun ändert man in Feld F4 einfach die Designfrequenz auf die geforderten 5800 MHz und simuliert dadurch erneut die Patchresonanz bei dieser Frequenz. Man ersieht aus **Bild 10**, dass hierzu die Länge auf $14,36$ mm - folglich um $0,29$ mm! - gekürzt werden muss. Also wird im Leiterplatten-CAD-System die für den ersten Entwurf verwendete Länge von $13,39$ mm auf

$$13,39 \text{ mm} - 0,29 \text{ mm} = 13,1 \text{ mm}$$

reduziert. Die Patchbreite bleibt selbstverständlich bei $20,32$ mm.

Nun bleibt als letzte Änderung noch eine Korrektur der $\lambda/4$ -Transformationsleitung, um

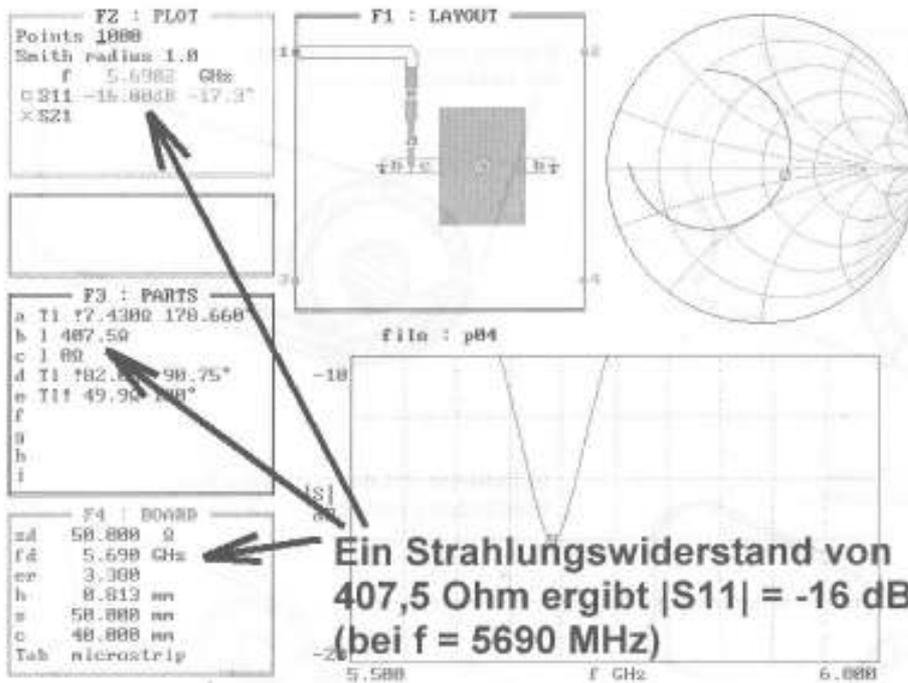


Bild 9:
Das Pferd von hinten aufgezümt: die Simulation der gemessenen Anpassung von $|S_{11}| = -16$ dB bei 5690 MHz liefert den tatsächlich wirksamen Strahlungswiderstand

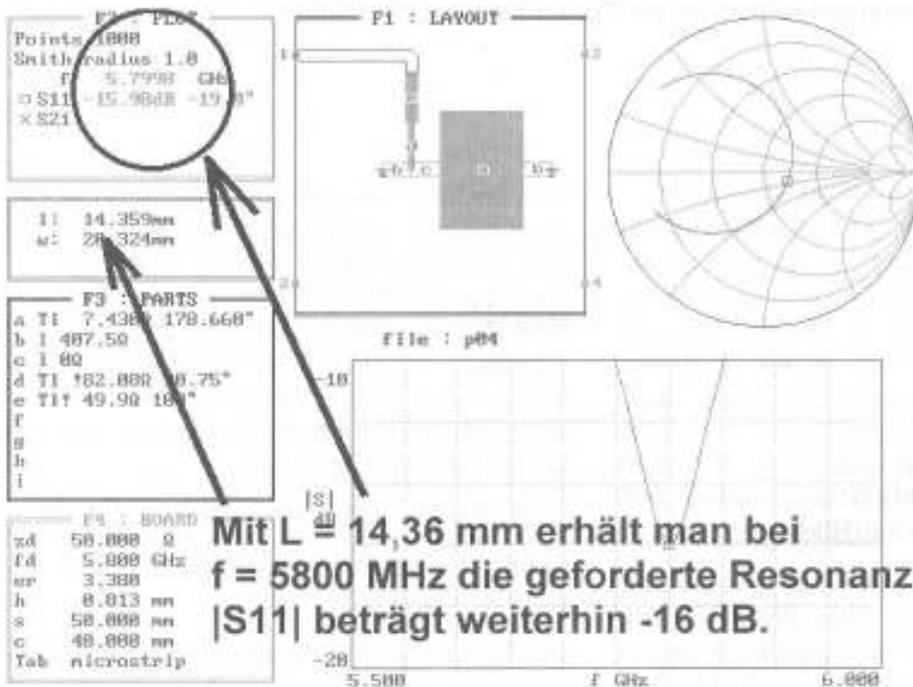


Bild 10:
Durch die Korrektur der Resonanzfrequenz von 5690 auf 5800 MHz erhält man die erforderliche Längenänderung beim Patch (Siehe Text)

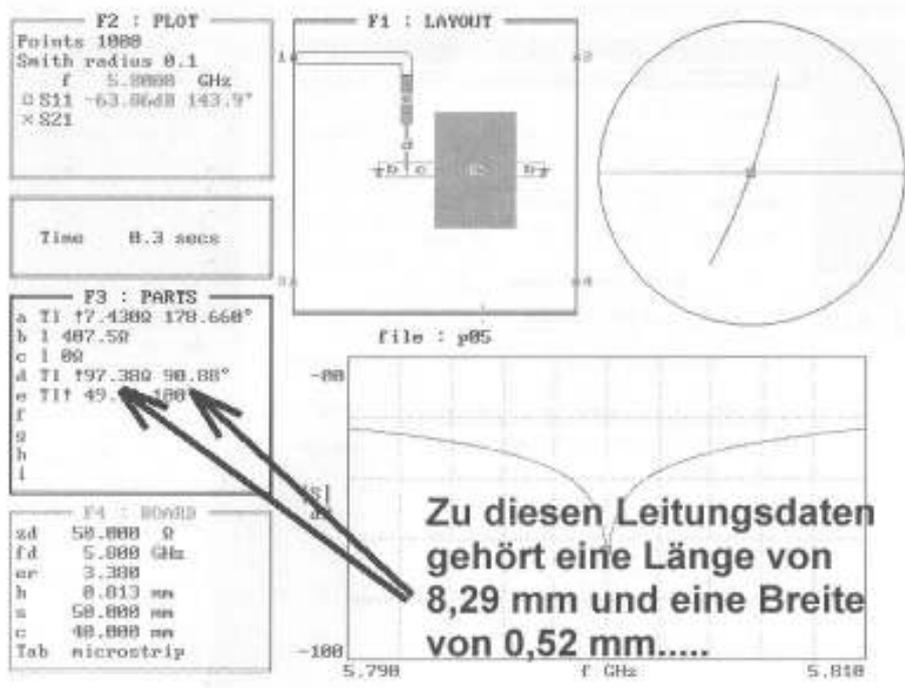


Bild 11: Abschließend wird die Anpassung durch Veränderung der Transformationsleitung optimiert

die Anpassung von den gemessenen - 16 dB auf noch bessere Werte zu bringen. Auch das ist eine recht harmlose Angelegenheit für PUFF, bei der das Ergebnis in **Bild 11** zu sehen ist. Die erforderlichen neuen Werte lauten:

Länge = 8,29 mm und Breite = 0,52 mm.

Natürlich muss dazu wieder auf beiden Seiten die erforderliche Open-End-Extension hinzugefügt werden. Beim Patch-Anschluss gelten weiterhin die schon vorher benutzten 0,41 mm, während sich auf der Feedseite doch etwas ändert:

$$\Delta L = \left(1 - \frac{0,52\text{mm}}{1,89\text{mm}} \right) \cdot 0,37\text{mm} = 0,27\text{mm}$$

Damit wird die Transformationsleitung mit einer Breite von 0,52 mm und einer Länge von 8,29 mm + 0,41 mm + 0,27 mm = 8,97 mm ausgeführt.



Bild 12: So ein schöner Rücken wird auch den Entwickler entzücken....

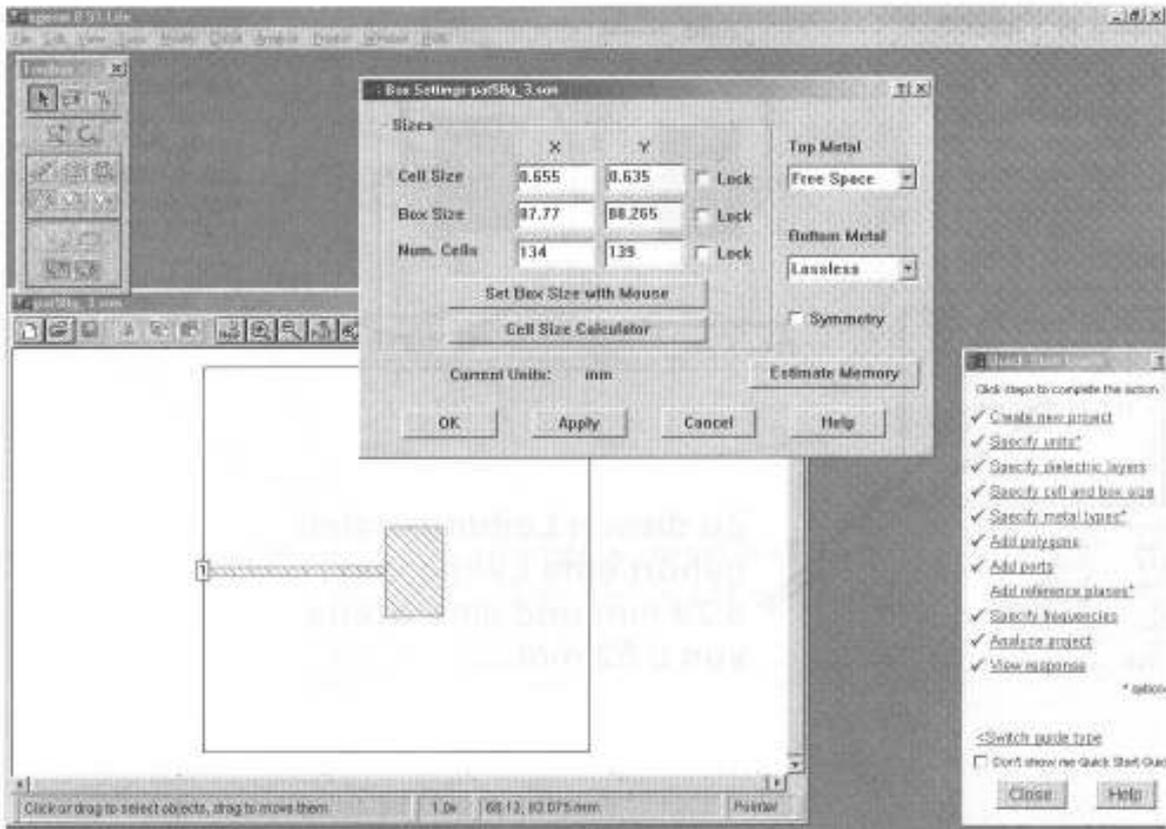


Bild 13: Da steckt doch etliche Vorarbeit dahinter: der Eingabe-Bildschirm für die SONNET-LITE-Simulation mit den Boxdaten und dem Patch samt Zuleitung sowie der neuen Online-Menüführung (unten rechts)

3.4. Messergebnisse beim zweiten Prototyp

Siehe hierzu **Bild 12** - mehr ist dazu nicht zu sagen und mehr wurde auch nicht getan.

4. Was meinen moderne EM-Simulatoren dazu?

Mit „Mstrip40“ wie auch mit „Sonnet Lite“ stehen zwei kostenlose EM-Simulationsprogramme zur Verfügung, die schon in den UKW-Berichten vorgestellt bzw. in Projekten

eingesetzt wurden. Nachdem SONNET im Augenblick mit den Verbesserungen seiner neuesten Version intensive Werbung treibt, wurde es auf das strahlende Patch angesetzt, um sowohl die Resonanzfrequenz nachzuprüfen, wie auch der Sache mit dem viel höheren Strahlungswiderstand nachzugehen. Durch eine „Online-Menüführung“ ist der Umgang mit dieser neuen Programmversion deutlich erleichtert und geradezu ein Kinderspiel - sofern man die Spielregeln für die Simulation solcher Antennenstrukturen im SONNET-Handbuch beherrscht. Sie sind im entsprechenden Artikel [3] nachzulesen. Außerdem braucht man natürlich die (kostenlos erhältliche) Zusatzlizenz zur Erweite-

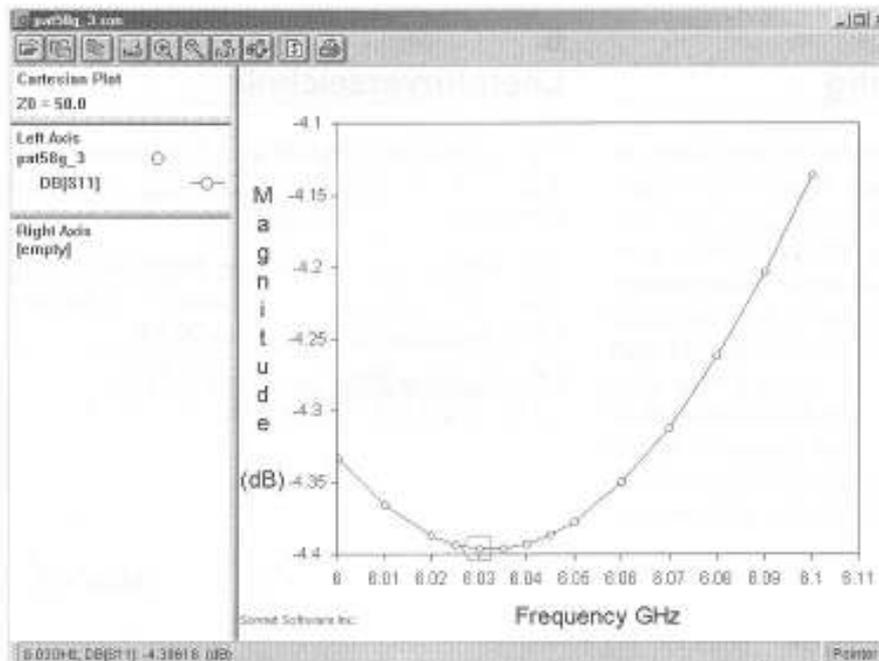


Bild 14:
Das Ergebnis:
die simulierte An-
passung stimmt
mit der Messung
fast exakt überein,
die Resonanzfre-
quenz wird da-
gegen zu hoch
vorausgesagt

nung des maximal belegbaren PC-Arbeits-
speichers auf 16 Megabyte, um die Simula-
tion erfolgreich durchzuführen.

In **Bild 13** sieht man den SONNET-Editor-
Bildschirm mit den gewählten Box- und Zel-
lenmaßen sowie den neuen „Quick Start Gui-
de“. Wegen der Begrenzungen bei der „Lite“-
Version wird die Transformationsleitung ein-
fach weggelassen und durch eine bis zur Bo-
xenwand geführte 50 Ω -Speiseleitung er-
setzt. Aus dem auf diese Weise dort ermit-
telten Reflektionsfaktor kann dann leicht und di-
rekt der tatsächliche Strahlungswiderstand
der Antenne bestimmt werden.

Hier folgt der Weg:

Das Simulationsergebnis zeigt **Bild 14** mit
einer Resonanz bei 6,03 GHz und $|S_{11}| = -4,4$
dB. Dazu gehört ein Reflektionsfaktor von

$$r = 10^{\frac{-4,4\text{dB}}{20\text{dB}}} = 0,60$$

Wegen der verwendeten 50 Ω -Speiseleitung
muss nun gedanklich im Smith-Diagramm
ihre „Leitungslänge zurückgedreht werden“,

bis man auf der reellen Achse bei Widerstän-
den größer als 50 Ω landet. Dann erhält man
nach der folgenden Beziehung den Gesamt-
widerstand an der gespeisten Patchkante:

$$R = \frac{1+r}{1-r} \cdot Z = \frac{1+0,6}{1-0,6} \cdot 50\Omega = 200\Omega$$

Folglich wirkt an jeder strahlenden Kante ein
Strahlungswiderstand von 400 Ω . Verglichen
mit dem gemessenen Wert von 407,5 Ω ist
das ein äußerst erfreuliches Ergebnis und
bestätigt damit die Richtigkeit der Messung.
Lediglich die Resonanzfrequenz wurde mit
einem Fehler von

$$\frac{6030\text{MHz} - 5800\text{MHz}}{5800\text{MHz}} \cdot 100\% = 3,96\%$$

zu hoch vorausgesagt. Na ja, so benehmen
sich wohl alle EM-Simulatoren (denn eine
Vergleichssimulation mit den für SONNET
benützten Zelldaten im Programm „mstrip40“
liefert exakt diese Resonanzfrequenz, aber
etwas größere Abweichungen von ca. 10 bis
15 % beim Strahlungswiderstand).



5. Schlussbetrachtung

Auch dem Privat-Entwickler ohne teuren Industrie-Messplatz stehen heute modernste Entwurfs-Hilfsmittel zur Verfügung, die seinen Etat kaum belasten. Mit etwas mehr zeitlichem und geistigem Aufwand, kombiniert mit Messgeräten der letzten oder vorletzten Generation sind auch bei ihm Entwicklungen möglich, deren Daten sich nicht hinter professionellen Produkten zu verstecken brauchen. Der Autor hofft, mit diesem Artikel einen kleinen Beitrag dazu geleistet zu haben und Mut zum „anspruchsvollen Experimentieren“ zu machen.

6. Literaturverzeichnis

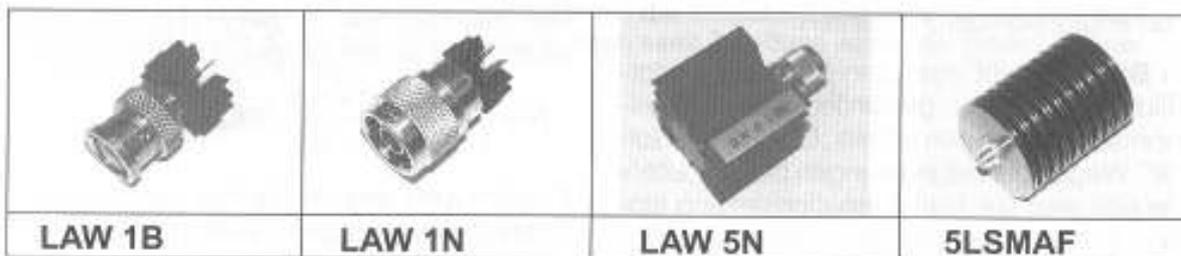
[1]: „Moderner Entwurf von Patchantennen, Teil 1“; Gunthard Kraus, DG8GB; UKW-Berichte 3/2000, Seite 139 ff

[2]: „Moderner Entwurf von Patchantennen, Teil 2“; Gunthard Kraus, DG8GB; UKW-Berichte 4/2000, Seite 221 ff

[3]: Kapitel 4.3 auf Seite 155 in [1]

ANZEIGE

ABSCHLUSSWIDERSTÄNDE, DUMMY LOADS



Technische Daten:	LAW 1B	LAW 1N	LAW 5N	5LSMAF
Frequenzbereich	DC - 5 GHz	DC - 5 GHz	DC - 3 GHz	DC - 24 GHz
Leistung max.	2 W	2 W	12 W	5 W
Anschluss	BNC-St (m)	N-St (m)	N-St (m)	SMA-Bu (f)
VSWR	0 - 1 GHz $\leq 1,1$	0 - 2 GHz $\leq 1,05$	0 - 2 GHz $\leq 1,1$	
Maße (mm)	$\varnothing 18 \times 28$	$\varnothing 21 \times 36$	$50 \times 52 \times 75$	$\varnothing 40 \times 58$
Gewicht	13 gr.	142 gr.	165 gr.	ca. 250 gr.
Art.Nr.:	04042	04043	04044	03163



Fachversand für Funkzubehör
 Jahnstr. 7, D-91083 Baiersdorf
 Tel. 09133-77980, Fax 09133-779833
 Email: ukwberichte@aol.com
 www.ukw-berichte.de