Gunthard Kraus, DG 8 GB

Praxisprojekt, Teil 1:

Entwicklung eines MMIC-Breitbandverstärkers für den Bereich von 50 MHz bis 2,5 GHz

Dieser Artikel soll den modernen Weg „von der Idee zum fertigen HF-Produkt" mit allen wichtigen Überlegungen, Simulationen und nötigen Erfahrungen bei der Umsetzung in eine funktionsfähige Platine demonstrieren. So darf auch die anschließende messtechnische Erfassung der Baustein-Eigenschaften mit allen Tücken bei hohen Frequenzen nicht fehlen. Grundlage ist ein Projekt des Autors für das Labor Übertragungstechnik an der Dualen HS Baden-Württemberg in Friedrichshafen.

1. Das Pflichtenheft

1.1. Wie kommt es zustande?

Das Pflichtenheft muss vorliegen, bevor irgendein Handgriff - auch geistiger Art - in Richtung Schaltungsentwurf getan wird. Das Pflichtenheft ist stets das Ergebnis einer Analyse, bei der die Baustein-Eigenschaften entweder anhand der Aufgabe innerhalb eines kompletten Systems oder auf Grund spezieller Anforderungen (z.B. als wichtiges Hilfsmittel für erforderliche Messungen) exakt festgelegt werden.

In diesem Fall war, neben dem pädagogischen Effekt, die zukünftige Verwendung als Vorverstärker für Rauschzahlmessungen mit dem Spektrum-Analysator der Leitgedanke (siehe auch [1] und [2]). Und so liest sich die Liste der Anforderungen:

3 dB-Bandbreite: 50 MHz bis 2,5 GHz
(Es ist zu prüfen, welche Verstärkung bei 3 GHz noch vorhanden ist)

Flatness: +/-1 dB

Verstärkung: min. etwa 20 dB

Ein- und Ausgangswiderstand: 50 Ω
(Geforderte Reflektionsdämpfung: besser als 10 dB)

Maximale Ausgangsleistung („P1dB"): min. +5 dBm

Maximal zulässiger Eingangspegel ohne Kompression: -20 dBm

Output 3rd Order Intermodulation Point (OIP3): min +15 dBm

Noise Figure NF: unter 5 dB

Unbedingt stabil (= keine Schwingneigung, egal bei welchem Innen- oder Abschlusswiderstand)

Versorgungsspannung: +5 V
(Wird über eine SMB-Buchse zugeführt); Ausreichende breitbandige Siebung dieser Versorgungsspannung.

Zweiseitig kupferkaschierte Platine mit durchgehender unterer Masse-Ebene.
(Werkstoff: Rogers R04003 / 32MIL = 0,813 mm dick / 35 µm beidseitige Kupferauflage)

Platinengröße: 30 mm x 50 mm mit 4 Befestigungsbohrungen (Durchmesser = 2,7 mm) im Raster von 24 mm x 44 mm. Einbau in ein gefrästes Aluminiumgehäuse mit Abschirmdeckel vorgesehen.

Verbindung von der Schaltung auf der Oberseite zur unteren Masse-Ebene über *möglichst viel Durchkontaktierungen („vias")*. Sie werden beim Muster durch versilberte Hohlnieten realisiert.

Durchgehende Mikrostreifenleitung mit Z = 50 Ω (gewählt: „Guided Coplanar Waveguide") vom Eingang zum Ausgang der Schaltung. Wird nur unterbrochen durch DC-Trennkondensatoren und den Verstärkerbaustein.

HF-Eingang und -Ausgang werden durch SMA-Buchsen mit Zweiloch- oder Vierloch-Befestigungsflansch gebildet, die von außen an das Aluminiumgehäuse angeschraubt werden. Ihr Innenleiter liegt direkt auf den zugehörigen Mikrostreifenleitungen der Platine auf und wird dort festgelötet.

Die Schaltung ist so kompakt zu entwerfen, dass bei Bedarf eine zusätzliche zweite identische Stufe auf der Platine angeordnet werden kann.

1. 2. Erläuterungen zum Pflichtenheft

„MMIC" bedeutet „Monolithic Microwave Integrated Circuit", also „Mikrowellen-IC mit allen Bauteilen auf einem Chip". Die Angebotspalette ist bei diesen Bausteinen in der Zwischenzeit sehr groß und immer mehr Halbleiter-Hersteller engagieren sich auf diesem Gebiet. Allerdings werden immer mehr Chips statt in Silizium- nun in Gallium-Arsenid- oder in Germanium-Technik gefertigt (gibt größere Bandbreite und weniger Rauschen).

Aus diesem Angebot wurde nach Prüfung seiner Daten der ABA52563 von AGILENT-AVAGO ausgewählt, da er günstig und ohne Lieferzeiten im Internet angeboten wird und die Beschaffung und Liefermöglichkeit meist das größte Problem bei derartigen Bausteinen darstellt. Seine wichtigsten Eigenschaften zeigt **Bild 1** in Kurzform. Diese werden nun der Reihe nach durchgegangen und mit den Anforderungen des Pflichtenheftes verglichen.

Der Begriff ***„Breitbandverstärker von 50 MHz bis 2,5 GHz"*** sagt aus, dass bei 50 MHz die untere 3 dB-Grenzfrequenz erreicht ist und im vorliegendem Fall die ***Verstärkung*** erst bei 2,5 GHz ebenfalls

Features

- **Operating frequency: DC ~ 3.5 GHz**
- **21.5 dB gain**
- **VSWR < 2.0 throughout operating frequency**
- **9.8 dBm output P1dB**
- **3.3 dB noise figure**
- **Unconditionally stable**
- **Single 5V supply (Id = 35 mA)**
- **Lead-free option available**

Bild 1: Ein Datenblatt, bei dem gleich alles zum Pflichtenheft des Projektes passt, ist schon eine feine Sache

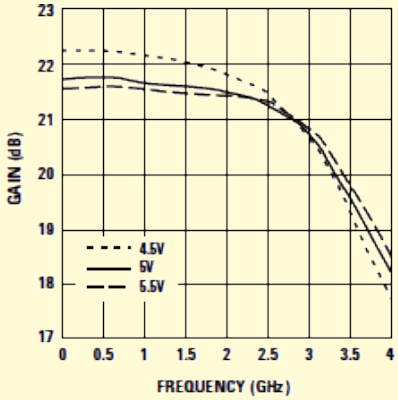

Figure 2. Gain vs. Frequency and Voltage.

Bild 2: Auch der im Datenblatt abgedruckte Verstärkungsverlauf macht Mut...

wieder um diesen Betrag abfallen darf. Dazwischen soll sie möglichst konstant bei wenigstens +20 dB liegen, wobei ***Schwankungen bis zu +/- 1 dB*** im gesamten Frequenzbereich zulässig sind. **Bild 2** zeigt, dass dieser Baustein die Forderungen erfüllt.

Ein- und Ausgangswiderstand sollen im gesamten Frequenzbereich möglichst wenig von 50 Ω abweichen. Dies wird durch die Forderung nach einem möglichst kleinen Reflektionsfaktor „r" ausgedrückt (…meist wählt man die Angabe der maximal zulässigen Werte bei den S-Parametern S11 und S22. Diese stellen die zugehörigen Reflektionsfaktoren dar, aber in „dB" ausgedrückt - und dieser dB-Wert muss eine möglichst hohe negative Zahl sein, da die Reflektion höchstens den Wert 1 = Null dB erreichen kann).

Oft zieht man die Angabe des „Stehwellenverhältnisses" VSWR (= voltage standing wave ratio) vor. Es hängt mit dem Reflektionsfaktor folgendermaßen zusammen:

$$|r| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

Dazu heißt es im Datenblatt: VSWR < 2.0 throughout operating frequency; daraus kann man den maximal auftretenden Reflektionsfaktor der MMIC-Ports errechnen:

„r" = (2 -1) / (2 + 1) = 1/3 = 0,33 = 33 %

Die Maximalwerte für S11 und S22 betragen damit

S11max = S22max = 20 · log(r) =
= 20 · log(0,33) = -9,6 dB

Wenn man die Eingangsleistung eines Verstärkers immer weiter erhöht, gerät er schließlich in die Begrenzung. Das merkt man daran, dass plötzlich die Ausgangsleistung „zurückbleibt", also nicht mehr so stark ansteigt und schließlich konstant ist. Hier hat man sich bei Datenblatt-

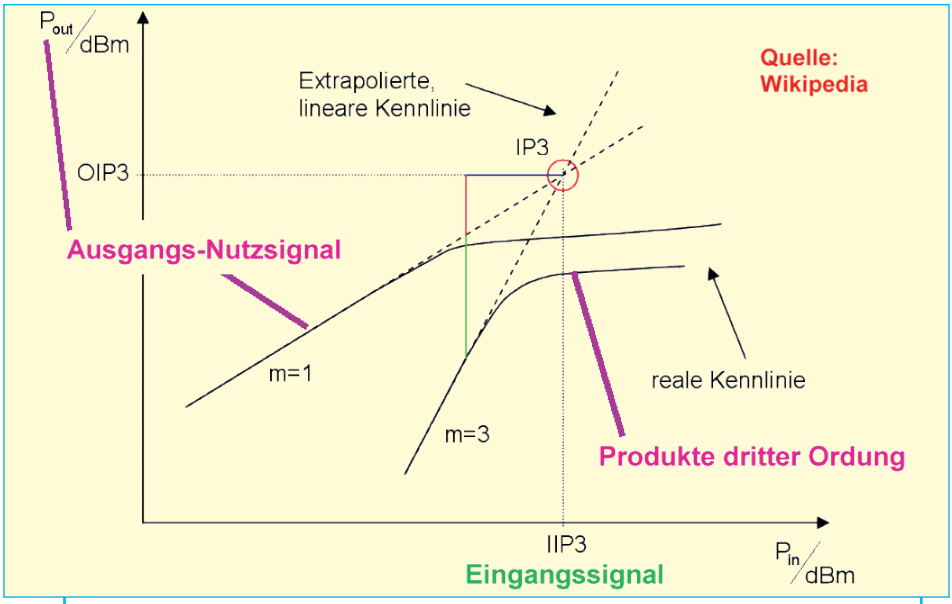

Bild 3: Hier geht es um den IP3-Punkt; man erkennt gleich, was ein solcher Baustein am Eingang verträgt (siehe Text)

Angaben auf einen Wert geeinigt, bei dem nur „1 dB bei der Ausgangsleistung fehlt" und bezeichnet diesen Punkt als „1 dB-Kompression". Für den ABA52563 gilt dabei:

9.8dBm output P1dB

Zum zugehörigen Eingangspegel kommt man stets, indem man von einem ***Ausgangspegel*** (in dB) die Verstärkung (in dB) abzieht. Im Pflichtenheft steht die Forderung von ***„+5 dBm für P1 dB"*** - also würde in diesem Fall ein Eingangspegel von mehr als

+5 dBm – 20 dB an Verstärkung = -15 dBm

anliegen. Deshalb ist die Vorgabe eines ***maximalen Eingangspegels von -20 dBm*** realistisch, um Übersteuerung zu vermeiden.

Lange, bevor man in die Begrenzung gerät, beginnen die Verzerrungen am Ausgang deutlich anzusteigen. Besonders unangenehm sind dabei die Produkte dritter Ordnung, da sie viel schneller ansteigen als das zugeführte Eingangssignal.

Es gilt:
Wird der Eingangspegel um 10 dB erhöht, nimmt der Abstand des Nutz-Ausgangssignals zu den Störprodukten dritter Ordnung um 20 dB ab!

Bevor sich jedoch die beiden Kennlinien schneiden, setzt die vorhin besprochene Begrenzung ein. Würde man jedoch diese beiden Geraden gedanklich bis zu ihrem Schnittpunkt verlängern, käme man zum ***„Intermodulation Intercept Point, Third Order"***, kurz „IP3" genannt. Er kann

für die Eingangs- oder Ausgangsseite angegeben werden, aber man zieht die Ausgangsangabe vor (= OIP3).

Dieser Zusammenhang ist sehr schön und übersichtlich in **Bild 3** dargestellt.

Die praktische Bedeutung dieses Diagramms liegt darin, dass nicht nur die Übersteuerungsgrenzen klar zu sehen sind, sondern sich auch bei Eingangspegeln unterhalb dieser Übersteuerung sehr genau der jeweilige Intermodulationsabstand bzw. die Obergrenze für störungsarmen Betrieb ablesen lässt. Wird zusätzlich das Eigenrauschen als untere Grenze für Eingangssignale angegeben, erhält man damit den „Intermodulationsfreien Dynamikbereich".

Noise Figure / Rauschzahl

Nahezu alle Bausteine der Kommunikationstechnik verschlechtern den Signal-Rauschabstand von Signalen, die ihnen zur Verarbeitung zugeführt werden. Dieser Unterschied zwischen den Signal-Rauschabständen an Ein- und Ausgang in dB (= also die Verschlechterung…) wird als „Noise Figure" bezeichnet und ebenfalls in dB angegeben.

In **Bild 4** ist das für einen Verstärker mit NF = 10 dB und einer Verstärkung von 20 dB genau erläutert.

Stabilitätsfaktor „k"

Er wird oft herangezogen, um die Schwingneigung einer Verstärkerschaltung zu beschreiben und lässt sich aus den S-Parametern berechnen. Das Ergebnis ist ganz einfach:

Eine absolut stabile Schaltung (die unter keinen Umständen zur Selbsterregung neigt) muss einen Stabilitätsfaktor „k" aufweisen, der größer als 1 ist.

Die Berechnung von „k" erfolgt üblicherweise mit dem sowieso eingesetzten Mikrowellen-/ CAD-Programm, das in der Simulation die S-Parameter der Schaltung verwendet oder ermittelt. Hier kommt der „Ansoft Designer / SV" zum Einsatz.

Für den gewählten Baustein scheint das kein Problem zu sein, denn im Datenblatt heißt es: „Unconditionally stable", aber

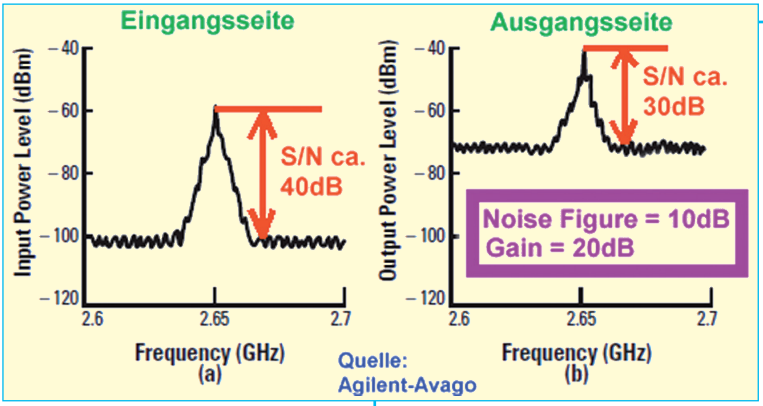

Bild 4:
Das muss man verstanden haben: die „Noise Figure" in dB gibt direkt die Verschlechterung des Signal-Rauschabstandes nach dem Durchlaufen der Stufe an

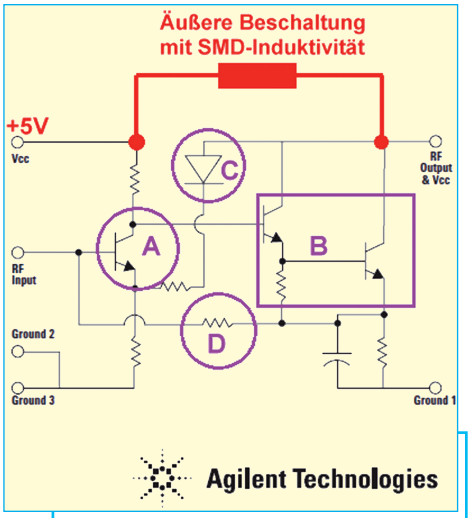

Bild 5: Das Innenleben - einfach, aber wirkungsvoll; Erläuterungen zu A bis D: - siehe Text -

eine Kontrolle, als Abschluss der Simulation kann nicht schaden.

2. Die Schaltung

2.1. Das MMIC

Einen Blick auf das Innenleben des ABA52563 zeigt **Bild 5**. Es besteht aus einer Eingangs-Verstärkerstufe (A) in Emitterschaltung, die ihr Ausgangssignal an eine zweite Emitterstufe (B) weitergibt. Diese zweite Stufe ist als „Darlington-Schaltung" aufgebaut, um deren Eingangswiderstand und damit auch die Stufenverstärkung zu erhöhen.

Über den Weg „C" und die leitende Diode wird ein Gegenkopplungssignal vom Kollektor der zweiten Stufe zum Emitter der ersten Stufe zurückgeführt, um die im Datenblatt angegebenen Eigenschaften zu erreichen und zu stabilisieren.

Der Widerstand D verbindet den Emitter der rechten Stufe mit der Basis der linken Stufe. Da der Emitter der rechten Stufe mit einem Kondensator für HF geerdet ist, stellt dieser Weg eine Gleichspannungs-Gegenkopplung dar. Damit werden die Arbeitspunkte in der Gesamtschaltung eingestellt und stabilisiert.

Die äußere Induktivität bildet den Kollektorwiderstand der rechten Stufe und sorgt gleichzeitig dafür, dass der DC-Ruhestrom in der rechten Stufe fließen kann.

Interessant sind noch die drei vorgesehenen Erdungspunkte (Ground 1 - 3). Die rechte Stufe mit ihren höheren Pegeln muss getrennt geerdet werden - sonst kann es Rückwirkungen auf die erste Stufe geben und die Schaltung schwingt. Dafür ist der Erdungspunkt der linken Stufe doppelt herausgeführt. Dahinter steckt die Überlegung, dass sich die beiden Zuleitungsdrähte (= Gold-Bonddrähte mit 0,02 mm Durchmesser) samt Gehäusefüßen parallel schalten und so die zugehörige Induktivität halbiert wird. Sie liegt nämlich in Reihe zum Emitterwiderstand dieser Stufe und wegen des mit der Frequenz ansteigenden induktiven Blindwiderstandes sinkt die Verstärkung mit zunehmender Frequenz. Also gilt es, diese Induktivität möglichst weit zu reduzieren, wenn die Frequenzen immer höher werden….

2.2. Die komplette Schaltung

Der entworfene Stromlaufplan ist in **Bild 6** zu sehen; dazu gehören folgen-

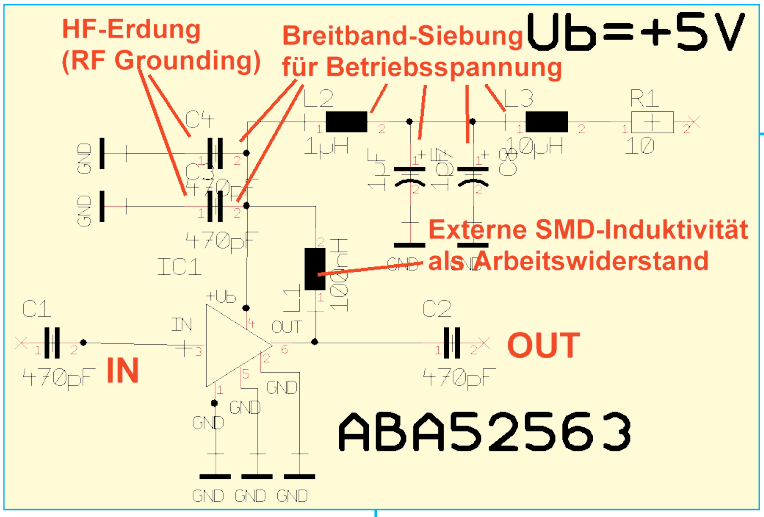

Bild 6: Zur Realisierung der praktischen Schaltung ist schon etwas mehr Aufwand erforderlich (Details siehe Text)

de Erläuterungen:

a. An Ein- und Ausgang des Verstärkers sind Kondensatoren zur Gleichspannungs-Trennung erforderlich. Es handelt sich um verlustarme SMD-Ausführungen mit 470 pF (Größe 0805) aus dem Werkstoff „NP0". Er ist leicht an der grauen / schwach violetten Färbung zur erkennen.

b. Die als Arbeitswiderstand dienende externe SMD-Induktivität hat einen Wert von 100 nH und die Größe 0805 oder 1206. Ihre Güte liegt in einem weiten Frequenzbereich bei etwa 30 bis 40. Ihre Eigenresonanz beträgt ca. 1 bis 1,5 GHz.

c. Die Siebung der Betriebsspannung erfolgt durch zwei in Reihe geschaltete LC-Tiefpässe.

Der erste Tiefpass (10 µH / 2 µF) weist eine niedrige Grenzfrequenz auf. Als Siebkondensatoren dienen zwei parallel geschaltete Tantal-Elkos mit niedriger Reiheninduktivität und kleinem Verlustwiderstand. Die störenden „Parasitics" (= Serieninduktivität und Verlustwiderstand) werden durch die Parallelschaltung der beiden Kondensatoren sogar noch halbiert.

Der zweite Tiefpass (1 µH / 1 nF) übernimmt die Siebung für die hohen Frequenzen. Dabei wird durch die beiden parallel liegenden 470 pF-SMD-Kondensatoren nicht nur der „+Ub"-Anschluss des MMICs, sondern auch das obere Ende der 120 nH-Drosselspule breitbandig für Wechselspannung geerdet. Bezüglich der Parallelschaltung von zwei Kondensatoren gilt wieder die vorige Überlegung: nahezu alle SMD-Kondensatoren einer Baugröße weisen (konstruktiv bedingt!) etwa dieselbe Serieninduktivität auf - sie liegt zwischen 0,5 und 1 nH. Durch Parallelschaltung mehrerer Kondensatoren kann man die Gesamtinduktivität (…die

einem mit steigender Frequenz wegen des steigenden Blindwiderstandes meist Ärger macht…) deutlich reduzieren und so in höhere Frequenzbereiche vorstoßen.

d) Der Vorwiderstand von 10 Ω dient nicht nur zur Siebung, sondern auch als Strombegrenzung beim Einschalten. Tantal-Elkos vertragen nämlich keine höheren Einschalt-Stromstöße als 0,3 bis 0,5 A!

2.3. Simulation der S-Parameter mit Ansoft Designer SV

2.3.1. Beschaffung des S-Parameter-Files für den ABA-52563

Das ist kein Problem, sondern nur Arbeit: es findet sich am Ende des Datenblattes und muss durch Herauskopieren aus dem pdf-File, Einfügen in ein neues Textfile und Nachbearbeitung am PC in folgende Form gebracht werden (**Tabelle 1**):

Erläuterungen zur Tabelle 1:

a. Zeilen, die mit einem Ausrufezeichen (!) beginnen, stellen Kommentare dar und werden später ignoriert.

! ABA-52563 S PARAMETERS				
# ghz s ma r 50				
0.05	0.01 146.6	12.10 -2.6	0.03 0.3	0.15 -2.4
0.10	0.01 134.0	12.11 -4.8	0.03 -0.3	0.15 -5.1
0.20	0.01 -40.6	12.16 -9.6	0.03 0.1	0.15 -9.6
0.30	0.01 -53.2	12.19 -14.5	0.03 1.2	0.15 -13.0
0.40	0.02 -56.7	12.19 -19.5	0.03 2.4	0.14 -15.7
0.50	0.03 -141.5	12.26 -24.8	0.03 1.0	0.15 -15.7
0.60	0.03 -128.1	12.24 -29.8	0.03 3.1	0.15 -17.6
0.70	0.04 -127.5	12.21 -34.9	0.03 4.3	0.15 -20.3
0.80	0.04 -126.7	12.18 -39.8	0.03 6.1	0.15 -22.5
0.90	0.05 -123.9	12.16 -44.7	0.03 7.4	0.15 -24.2
1.00	0.05 -125.0	12.13 -49.7	0.03 11.7	0.15 -26.4
1.20	0.05 -123.4	12.10 -59.6	0.03 10.8	0.15 -29.4
1.40	0.06 -127.4	12.05 -69.4	0.03 12.4	0.15 -32.4
1.60	0.06 -133.8	12.04 -79.6	0.03 13.0	0.15 -35.3
1.80	0.06 -136.7	12.00 -89.8	0.04 14.7	0.15 -37.8
2.00	0.07 -142.5	11.94 -100.4	0.03 14.3	0.15 -38.3
2.20	0.07 -143.9	11.87 -111.2	0.04 16.7	0.15 -37.8
2.40	0.08 -146.1	11.75 -121.9	0.04 16.2	0.15 -37.3
2.60	0.09 -148.4	11.56 -133.2	0.04 17.3	0.14 -36.9
2.80	0.09 -149.5	11.33 -144.5	0.04 15.6	0.14 -36.4
3.00	0.10 -152.7	10.95 -156.1	0.04 15.8	0.13 -35.9
3.20	0.10 -158.7	10.51 -167.5	0.04 15.6	0.13 -35.4
3.40	0.11 -163.2	9.97 -178.7	0.04 15.5	0.13 -34.9
3.50	0.11 -167.6	9.67 175.9	0.05 16.0	0.13 -34.6
4.00	0.12 165.9	8.25 150.6	0.05 12.0	0.13 -33.4
4.50	0.16 138.3	6.98 126.3	0.05 12.7	0.14 -37.1
5.00	0.19 122.8	5.71 105.0	0.06 9.5	0.12 -48.4
5.50	0.25 112.3	4.85 86.7	0.07 6.0	0.12 -63.0
6.00	0.30 99.3	4.14 70.4	0.07 1.0	0.11 -83.5

Tabelle 1:
S-Parameter-Liste für den Baustein ABA-52563

b. Der Gartenzaun (#) gibt an, in welcher Form die Parameter angeliefert werden.

ghz s m a r 50

bedeutet deshalb: die Zeilen beginnen mit der Frequenzangabe in GHz, dann folgen die S-Parameter in der Reihenfolge

S11 S21 S12 S22

Jeder Parameter wird als Wertepaar aus „m“ (= Magnitude, also Amplitude) und „a“ (= Angle, also Winkel) angegeben.

Der Hinweis „r 50“ besagt, dass mit einem rein Ohm'schen Systemwiderstand Z von 50 Ω gearbeitet wird.

Diese Tabelle wird in ein einfaches Textfile kopiert und in einem passenden Ordner unter dem Namen ABA52563.S2P gespeichert.

2.3.2. Simulation der Schaltungseigenschaften

2.3.2.1. Das Programm

Der Ansoft Designer SV stellt die für Studienzwecke etwas abgemagerte, aber kostenlose Variante eines hervorragenden (und teuren…) Mikrowellen-CAD-Programms dar. Interessant ist es deshalb, weil hier die komplette lineare S-Parameter-Simulation einschließlich unzähliger Bauteilmodelle und einem ausgezeichneten Leitungskalkulator freigegeben war. Leider hat der Hersteller diese Software komplett aus dem Internet genommen, jedoch dem Autor die Erlaubnis erteilt, sie noch in seiner Homepage (www.elektronikschule.de/~krausg) für Interessenten zum Download bereitzustellen.

2.3.2.2. Einrichten des Projekts und Eingabe der Platinendaten

Man startet das Programm und klickt anschließend im Menu „File“ auf „New“ sowie im Menu „Project“ auf „Insert Circuit Design“. Das Programm antwortet mit einem Pop-up-Menü „Choose Layout Technology“, in dem man die Zeile

MS - FR4 (er = 4,4) 0.030 inch, 0.5 oz copper

wählt und mit „open“ bestätigt. Hinterher sollte der Bildschirm komplett mit verschiedenen Fenstern bedeckt sein und es ist höchste Zeit, das Projekt unter einem eigenen Namen (hier: „aba525623_01“) in einem geeigneten neuen Ordner abzuspeichern.

Im linken oberen Fenster öffnet man das Menü „aba52563_01“ und darin „Circuit“ und „Data“ (**Bild 7**).

Auf „FR4“ im Projektfenster wird nun doppelt geklickt, um auf den verwendeten Leiterplattenwerkstoff „Rogers RO4003“ und auf den erforderlichen Leitungstyp „Grounded Coplanar Waveguide“ umzustellen. Hier taucht ein weiteres Menü „Choose Layout Technology“ auf, in dem man die nötigen Einträge vornimmt (**Bild 8**). In der rechten oberen Hälfte dieses Menüs finden sich die Daten des Leiterplattenwerkstoffes. Um an sie heranzukommen, klickt man auf „Edit“ und bestätigt bei der folgenden Frage, dass man weitermachen möchte.

Folgende Einträge sind nötig:

Substratname:	RO4003
Substrattyp:	Grounded Coplanar Waveguide

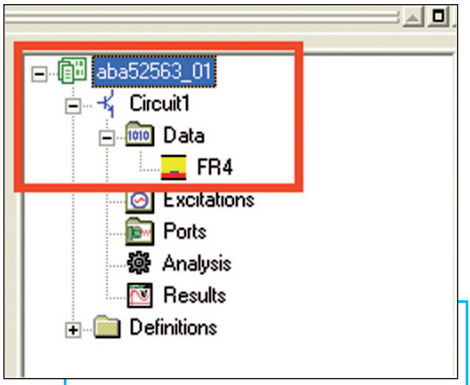

Bild 7: Hier versteckt sich das Platinenmaterial! Also klickt man auf „FR4“…

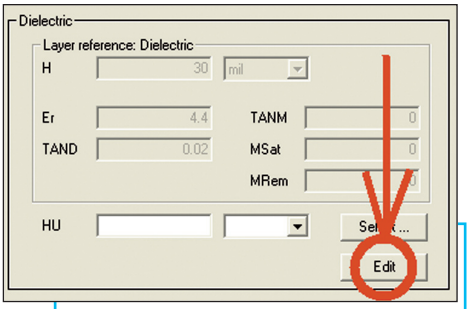

Bild 8: …und dann auf „Edit“, um auf „Rogers RO4003“ umsteigen zu können

Platinendicke: „H“ = 32mil

Dielektrizitätskonstante: Er = 3.38

Verlustfaktor: TAND = 0.002

Abstand zwischen Platine und Abschirmdeckel: HU = 13 mm

Hinterher wird mit OK bestätigt und genau geprüft, ob diese Eigenschaften korrekt gespeichert wurden (**Bild 9**).

Nach dem Abschluss mit OK öffnet man nochmals dieses Menü (erneut durch einen Doppelklick auf „RO4003“ im Projektfenster), wobei nun die Datenpalette durch einen Klick auf „Edit“ in der rechten unteren Ecke des Menüs geöffnet wird. Die Dicke der Kupferschicht (Thickness) gibt man mit 35 µm sowie die Oberflächenrauhigkeit (Roughness) mit 2 µm) ein (**Bild 10**) und schließt erneut mit OK ab.

2.3.2.3. Zeichnen der Schaltung

Mit dem Schaltungseditor geht es an das Zeichnen der Schaltung, dazu betrachtet man **Bild 11** genau:

(1) Man beginnt mit dem ABA52563 und holt einen „N-Port“ aus der Menüleiste

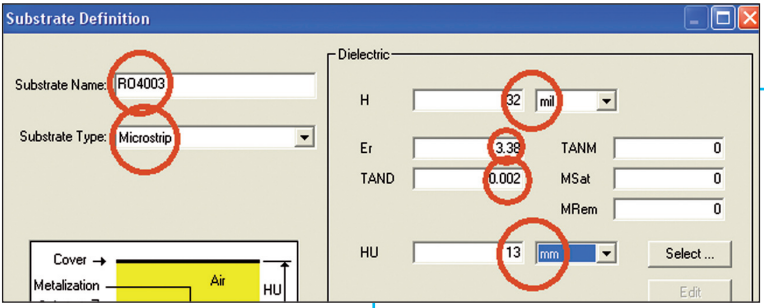

Bild 9: Dieser Umstieg erfordert nun natürlich etwas Eingabearbeit (- siehe Text -)

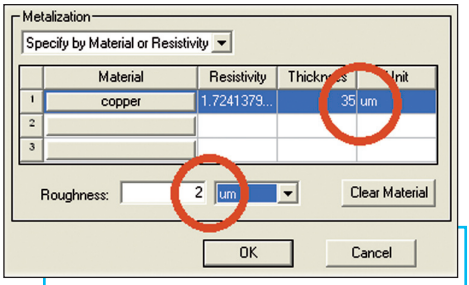

Bild 10: Auch um die Kupferschicht für die Leiterbahnen muss man sich kümmern (- siehe Text -)

(2) Diesen N-Port nennt man z.B. „ABA52563“

(3) Jetzt benötigt das Programm exakt den Pfad zur S-Parameter-Datei des Bausteines (Hinweis: es empfiehlt sich, diese Projektdatei und die S-Parameter-Datei im gleichen Ordner zu speichern…)

(4) Die S-Parameter-Datei des ABA52563 wird durch einen Mausklick markiert und anschließend über „Öffnen“ in das Projekt übernommen. Nach zweimaligem OK lässt sich nun das N-Port-Symbol auf dem Bildschirm absetzen.

Mit einem rechten Mausklick auf das N-Port-Symbol und auf „Properties“ ruft man die Karteikarte „Property Displays“ auf. Dort klickt man „Add“ und „OK“ an und es erscheint die MMIC-Bezeichnung

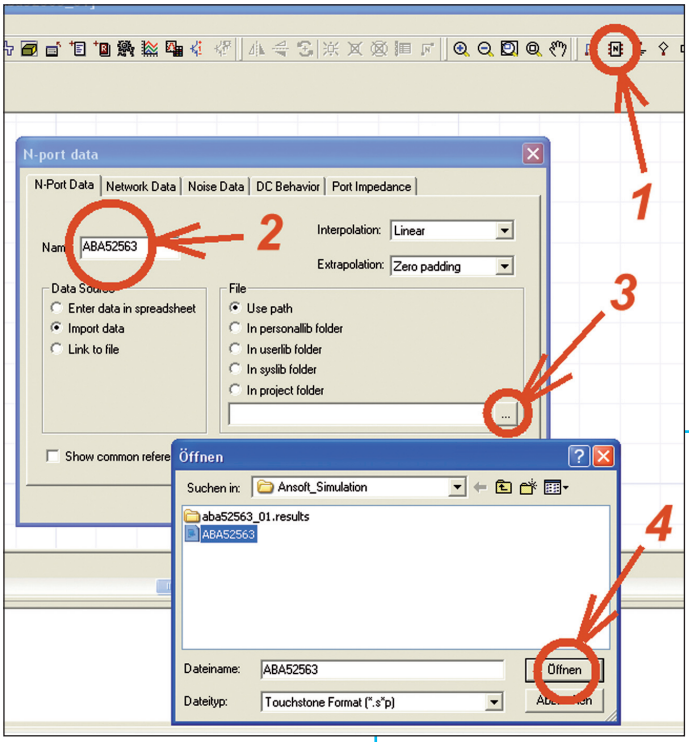

Bild 11:
Durch diese Prozedur wird aus dem einfachen N-Port der ABA52563

neben dem Schaltzeichen auf dem Bildschirm. Jetzt braucht man 2 Port-Symbole, setzt sie an Ein- und Ausgang des Bausteins ab und stellt die Verbindung zum Baustein mit „Wires“ her (**Bild 12**).

Ein „linker Doppelklick“ auf das Port-Symbol öffnet sein Property Menü (**Bild 13**). Darin stellt man auf „Microwave Port“ um und prüft, ob auch ein Systemwiderstand von 50 Ω gilt. Diese Prozedur nimmt man für den Ein- und den Ausgangsport vor.

Jetzt wird es etwas komplizierter, denn man benötigt die SMD-Induktivität mit 100 nH. Dazu stellt man zuerst im Projektmenu auf die Karteikarte „Components“ um und hangelt sich über „Circuit Elements / Lumped / Inductors“ bis zu „Chip Inductor / Q Factor“ durch. Dieses Bauteil muss man mit gedrückter linker Maustaste in die „Schaltung ziehen“, mit „R“ um 90 Grad drehen und an den Ausgang parallel zum Port anschließen. Bitte das Massezeichen nicht vergessen (…das Symbol befindet sich in der Menüleiste zwischen dem Port - und dem N-Port-Symbol). **Bild 14** zeigt diese nötige Prozedur sehr schön.

Schließlich öffnet man mit einem Doppelklick auf das Induktivitätssymbol dessen Property Menü, um die Spulendaten einzutragen; diese vier Einträge sind in **Bild 15** aufgelistet.

2.3.2.4 Simulation der S-Parameter

Zuerst wird - siehe **Bild 16** - von „Components“ auf die Karteikarte „Project“ zurückgeschaltet. Ein rechter Mausklick auf „Analysis“ ist nötig, um „Add Solution Setup“ auswählen zu können. Entsprechend **Bild 17** sollten die nun auftauchenden Grundeinstellungen aussehen, die man mit OK bestätigt. Die etwas aufwendige Eingabeprozedur sollte man exakt nach **Bild 18** in der angegebenen Reihenfolge abwickeln:

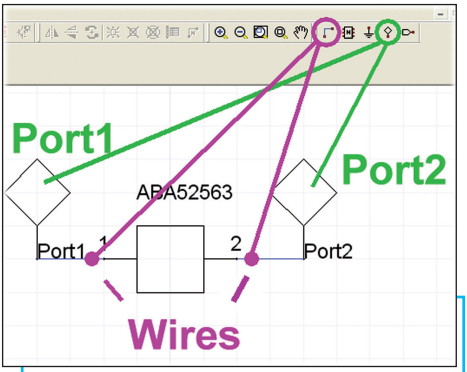

Bild 12: Von alleine kommt man nicht drauf (siehe Text): nur so bekommt man die Bezeichnung des MMICs neben das N-Port-Symbol und kann anschließend die beiden Ports anschließen

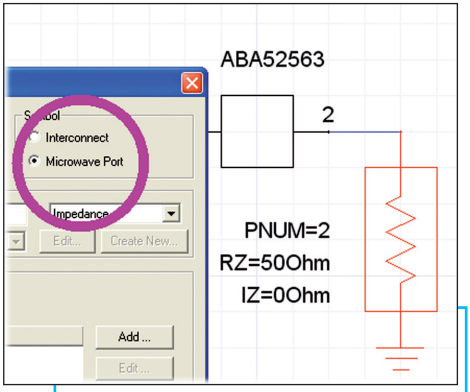

Bild 13: So wird von „Interconnect Port“ auf „Microwave Port“ umgestellt

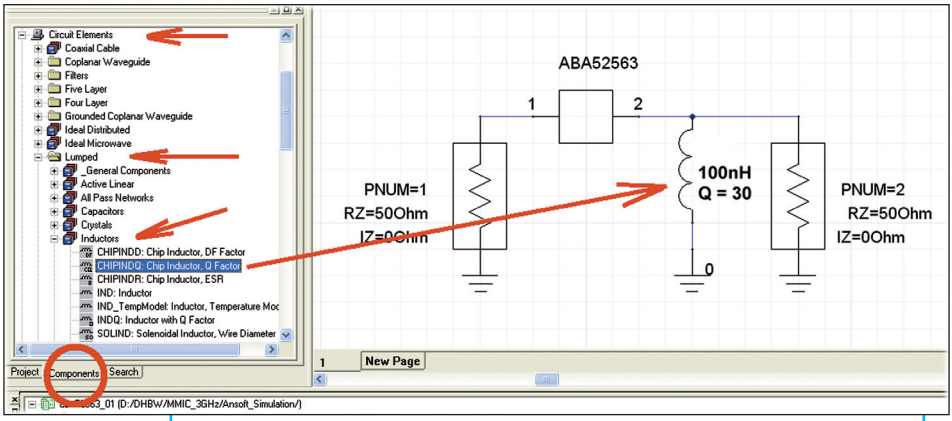

Bild 14: Auch die SMD-Induktivität hat sich gut versteckt. Bitte nach der Platzierung des Symbols…

(1) Es beginnt mit „Add" im auftauchenden Menü, wodurch sich ein weiteres Menü für die Sweep-Einstellungen öffnet.

(2)…(4) Nun wird ein Sweep vom 0.05 GHz bis 6 GHz mit einer Schrittweite von 0.05 GHz programmiert.

(5) Wenn „Add" gedrückt wird…

(6) …sollte diese Sweep-Programmierung im zugehörigen Fenster erscheinen und kann überprüft werden.

(7) Nach OK…

(8) …reicht ein Klick auf „Fertig stellen" und alles ist nun für die Simulation vorbereitet.

Mit dem Simulations-Button (mit den Zahnrädern drauf!) in der Menüleiste wird die Simulation gestartet (**Bild 19**).

Hinterher ist zwar die Simulation erledigt und die Ergebnisse sind gespeichert, aber die Ergebnisausgabe muss zusätzlich programmiert werden. Den Weg dazu zeigt **Bild 20**, denn darin wählt man das

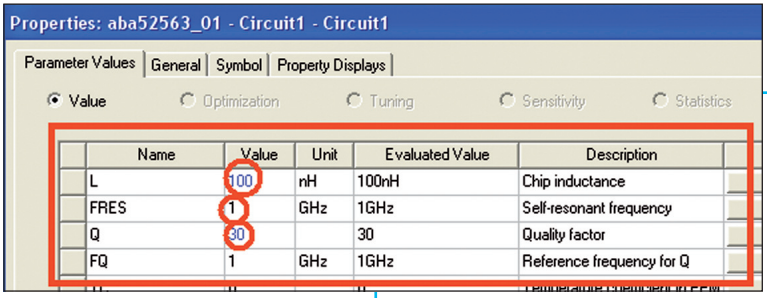

Bild 15: …diese Spuleneigenschaften einstellen.

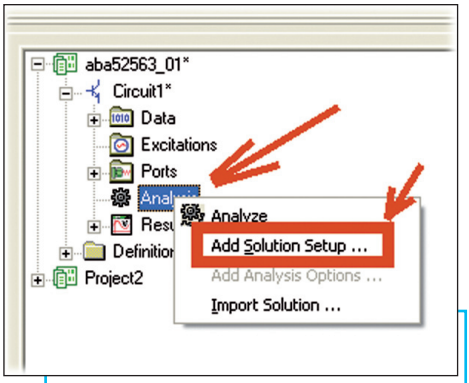

Bild 16: Jetzt wird es ernst mit der Simulation; erst hangelt man sich zur Sweep-Programmierung durch…

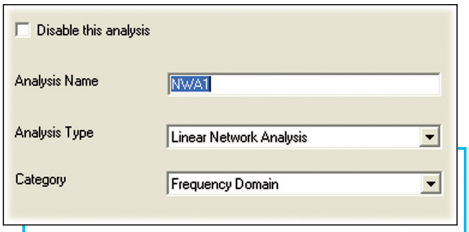

Bild 17: …und dann entscheidet man sich für einen linearen Sweep der Frequenz

Untermenü „Results“, um einen Report zu erzeugen. Bitte erst kontrollieren, ob als Display-Typ „Rectangular Plot“ gewählt wurde: dann kann OK gedrückt werden.

Jetzt wird es etwas aufwendig (**Bild 21**), denn die Schritte (1) bis (6) müssen nacheinander abgearbeitet werden.

(1) Bitte kontrollieren, ob die S-Parameter für die Darstellung ausgewählt sind.

(2)….(4) S11 markieren, dann „Add Trace“ drücken; anschließend prüfen, ob dieser Wunsch in die Taskliste übernommen wurde und dort erscheint.

Diese Prozedur wird für die restlichen S-Parameter S12 / S21 / S22 wiederholt.

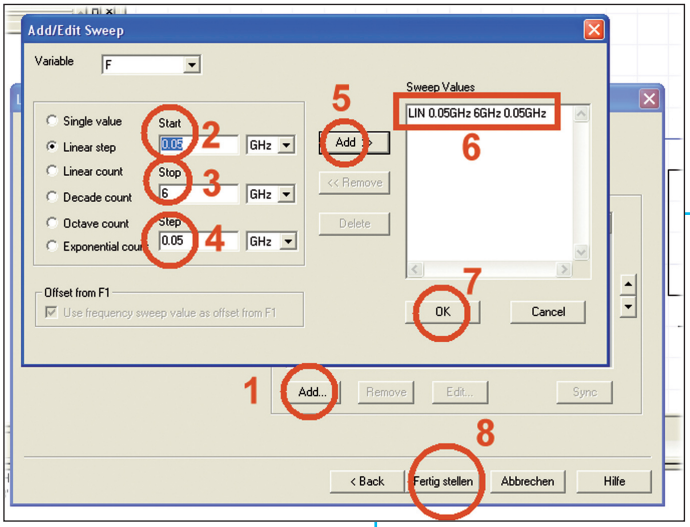

Bild 18: Die Sweep-Programmierung ist etwas aufwendig und muss sehr sorgfältig vorgenommen werden (- siehe Text -)

Bild 19: Das ist er! (= der Startbutton für die Simulation)

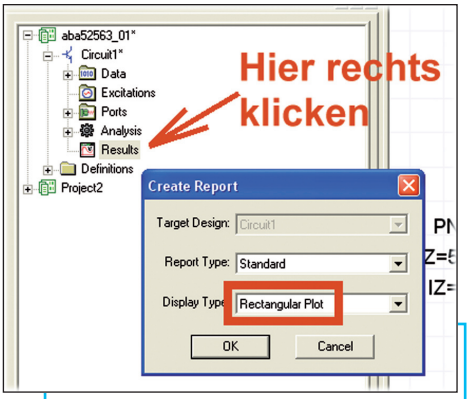

Bild 20: Zur Darstellung der Simulationsergebnisse ist eine weitere Programmierung erforderlich

(5) Nach einer letzten Kontrolle drückt man „Done". Das sollte die Ansichtserstellung starten und zum Bildschirm nach **Bild 22** führen. Darauf hat man ja schließlich hingearbeitet und deshalb folgt nun die Kontrolle, ob die geforderten Vorgaben bis 2,5 GHz erfüllt sind. Im Diagramm wurde die Frequenz f = 3 GHz farbig markiert und so ist bei den Kurvenverläufen gut zu erkennen, dass das Ziel erreicht wurde und man unbesorgt weiter machen kann.

Wird fortgesetzt!

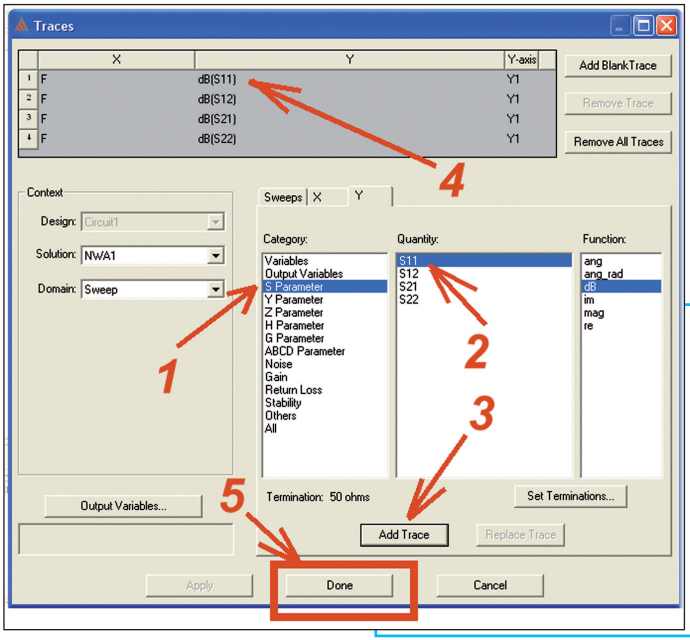

Bild 21: Also sorgt man für die Darstellung der vier S-Parameter (- siehe Text -)…

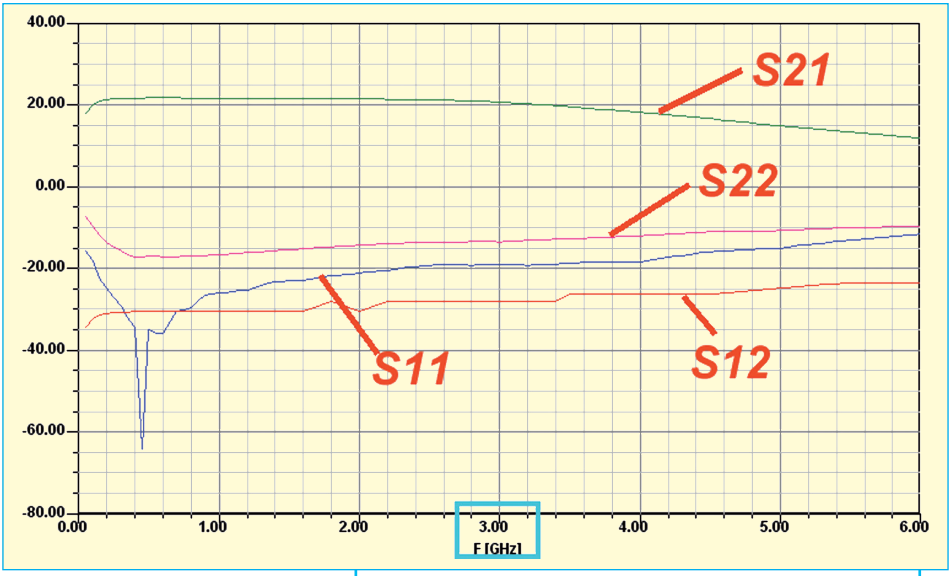

Bild 22: …und analysiert anschließend das Ergebnis

X. Literatur zu Teil 1:

[1] und [2]: Gunthard Kraus, Rauschfaktormessungen mit älteren Spektrum-Analysatoren, Teil 1 UKW-Berichte, Heft 3 / 2007, Seite 131 bis 142 und Teil 2: UKW-Berichte, Heft 1 / 2008, Seite 3 bis 23

ANZEIGE

...bei uns erhältlich:

Kurze Antennen
von Gerd Janzen
408 Seiten, gebunden
Art.Nr.: 08129
€ 28,90 inkl. MwSt.
zuzügl. Versand

Monopolantennen und Vertikalantennen
von Gerd Janzen
471 Seiten, broschur
Art.Nr.: 08160
€ 39,90 inkl. MwSt.
zuzügl. Versand

UKW Berichte Telecommunications

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