

Zum Großsignalverhalten von 144-MHz-Transceivern

*Wolf-Henning Rech, DF9IC, Eisinger Str. 36/2, 75245 Neulingen,
mailto:whrech@web.de*

1 Einführung

In diesem Beitrag geht es ausdrücklich um das Großsignalverhalten von 144-MHz-Transceiver - nicht um KW-Geräte, und auch nicht nur um den reinen Empfangsteil eines 2-m-Schmalband-Sendeempfängers. Für die Amateurfunkgeräteindustrie ist dies leider kein wichtiges Thema, und für viele Funkamateure außerhalb der europäischen Ballungsräume auch nicht. Deshalb und weil andere Eigenschaften für den kommerziellen Erfolg wichtiger sind, die dazu konträr stehen, z. B. Breitband-Empfangsbetrieb und Integration vieler Bänder in ein Gerät, können gute VHF-(Konstest-)Transceiver nicht einfach beim Händler bestellt werden - zur Realisierung ist eigene Kreativität gefragt.

Bevor über Maßnahmen nachgedacht werden kann, muß man zunächst der Stand der Technik feststellen. In der Literatur [2][3][4][5][6][7] gibt es eine ganze Reihe von Untersuchungen und Berichten, die aber nicht alle immer zuverlässig erscheinen. Die erforderlichen Messungen sind leider nicht einfach durchzuführen; ein auch nur mittelmäßiger SSB-Sender erzeugt weniger Seitenbandrauschen als der LO eines Spektrumanalysators der Oberklasse, so daß dieser zur Messung ungeeignet ist. Der erste Schritt ist daher der Aufbau einer eigenen Meßtechnik, die zwar nur für 144 MHz geeignet ist, dort aber für den Zweck ausreichend gut.

Nachdem einfache geeignete Testinstrumente zur Verfügung standen, hat der Autor andere Funkamateure mit ihren Stationen eingeladen und einige der kritischen Parameter von Sendern und Empfängern gemessen. Über die Methodik und die Ergebnisse dieser Messungen wird hier ebenfalls berichtet.

2 Starke und schwache Signale im 2-m-Band und bei Kurzwelle

Bild 1 zeigt die Großsignalsituation am Standort des Autors während des Maikontests 2005. Die eingetragenen Stationen gehören jeweils zu den ersten zehn in der Wertung, mit guten Standorten und deutlichem Antennenaufwand. Die verwendete Empfangsantenne ist eine 2x11-Element-Yagi-Gruppe mit einem azimuthalen Öffnungswinkel von etwa 40° an einem guten VHF-Standort ohne Vorverstärkung und mit 1,5dB Kabeldämpfung bis zum Spektrumanalyzer (R&S FSP30). Für dieses Bild wurde die Antennenanlage in Schritten von 30° gedreht und dann jeweils für ca. 20s der Analysator mit „MAX HOLD“-Funktion zur Messung eingesetzt, so daß alle regelmäßig auftretenden Signale erfaßt sind. Die Spektrogramme der verschiedenen Antennenrichtungen sind in diesem Bild übereinandergeschrieben dargestellt. Schwache Signale gehen natürlich im additiven und Phasenrauschen des Analyzers unter.

Es sind drei sehr starke Signale erkennbar, DK0OX mit -25dBm, DL0DR mit -22dBm und DL6IAK/p mit mehr als -20dBm (bis zu -11dBm bei aufeinandergedrehten Antennen); letzteres entspricht einem Abstand zum Rauschen bei 290K und 2,5kHz Bandbreite von fast 130dB. Der Rauschflur eines SSB-Empfängers mit 0dB Rauschzahl liegt bei -140dBm. Zu diesen drei Statio-

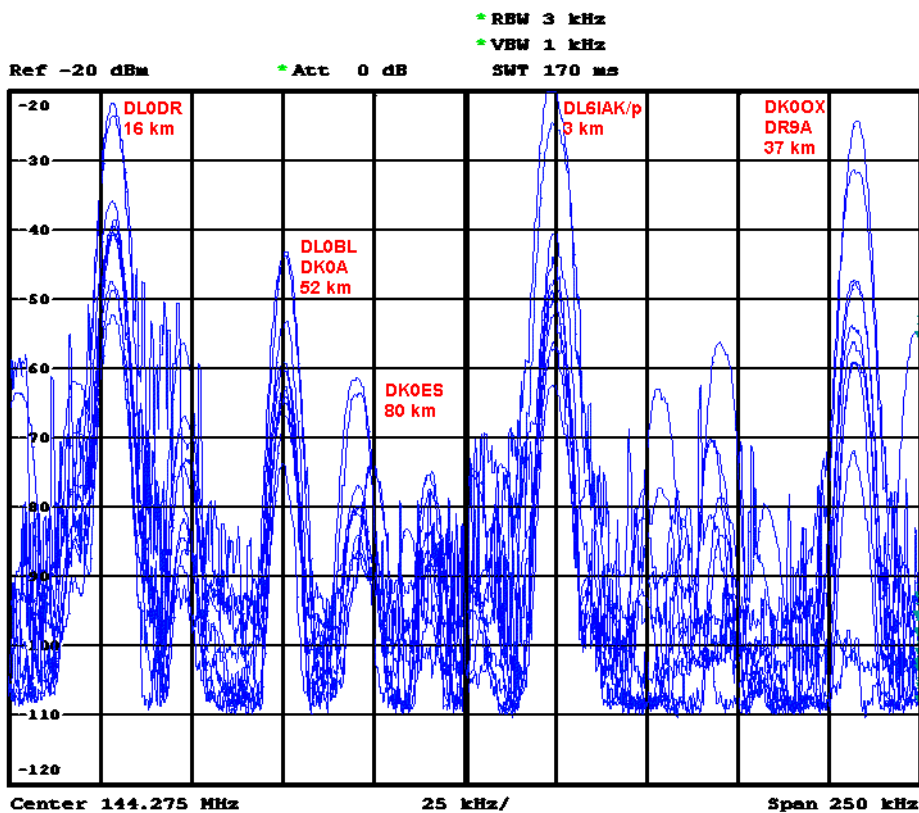


Bild 1 Belegung des 2-m-SSB-Bands am Standort des Autors im Maikontest 2005

nen besteht eine Fast-Sichtverbindung, nur durch einige Bäume unterbrochen. Allerdings treten diese sehr starken Signale nicht bei gleicher Antennenrichtung auf, wie Bild 2 zeigt. Wenn die Antenne auf eine der Stationen ausgerichtet ist, sind die anderen beiden typischerweise 15....30dB schwächer. Diese Situation ist relativ typisch für das 2-m-Band mit hoher Aktivität; ein oder zwei sehr starke Signale dominieren alle anderen, die deshalb für Großsignalbetrachtungen dann auch beinahe vernachlässigt werden können.

Im unteren Kurzwellenbereich sehen die Spektren hingegen ganz anders aus: sehr viele dicht beachtliche Signale, auch von benachbarten Rundfunksendern, erreichen -20dBm und mehr; allerdings liegt auch der Rauschpegel etwa 30...50dB über dem thermischen Rauschen bei 290K. Damit ergibt sich, daß die Dynamikanforderungen an einen Kurzwellenempfänger durch eine größere Anzahl von Signalen bestimmt wird, von denen jedes einzelne aber „nur“ um etwa 80...100dB über dem Antennenrauschen liegt. Im 2-m-Band sind hingegen meist nur ein oder zwei starke Signale entscheidend, die aber bis zu 110....125dB stärker sind als das Antennenrauschen. Daraus resultieren unterschiedliche Anforderungen an den Empfänger, und deshalb ist ein brauchbarer KW-Empfänger nicht automatisch ein guter Nachsetzer für einen 2-m-Band-Transverter.

3 Intermodulation, Rauschen und Splatter

Ein Sender (TX) soll nur in dem vorgesehenen Frequenzbereich von ca. 2,5kHz (bei SSB) Ausgangssignale erzeugen, ein Empfänger (RX) nur in dieser Bandbreite auf Signale reagieren. Das läßt sich durch Filter (im allgemeinen bei einer Zwischenfrequenz) mit genügend Selektionswirkung und lineare Signalverarbeitung in allen Stufen hinter (TX) bzw. vor (RX) diesem Filter erreichen. Was sich so einfach anhört, ist leider nicht perfekt zu realisieren. Die nichtidealen

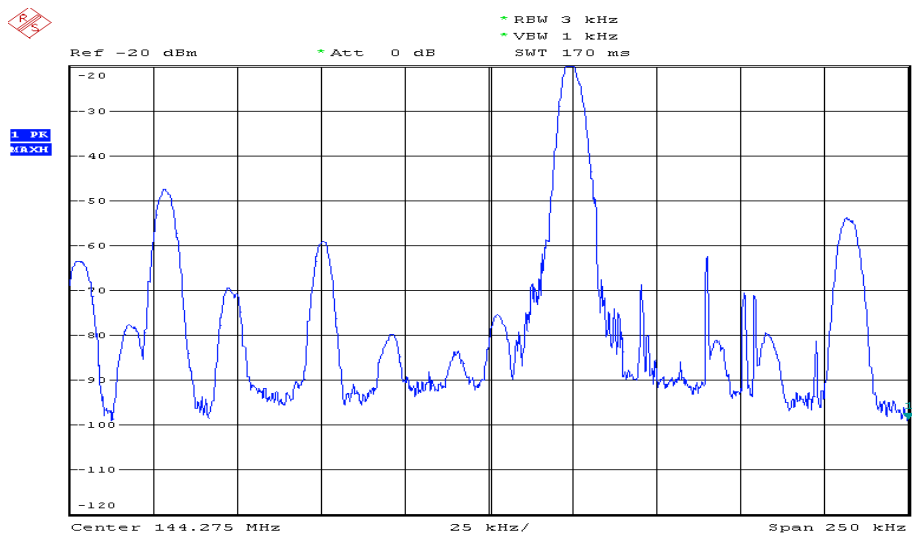
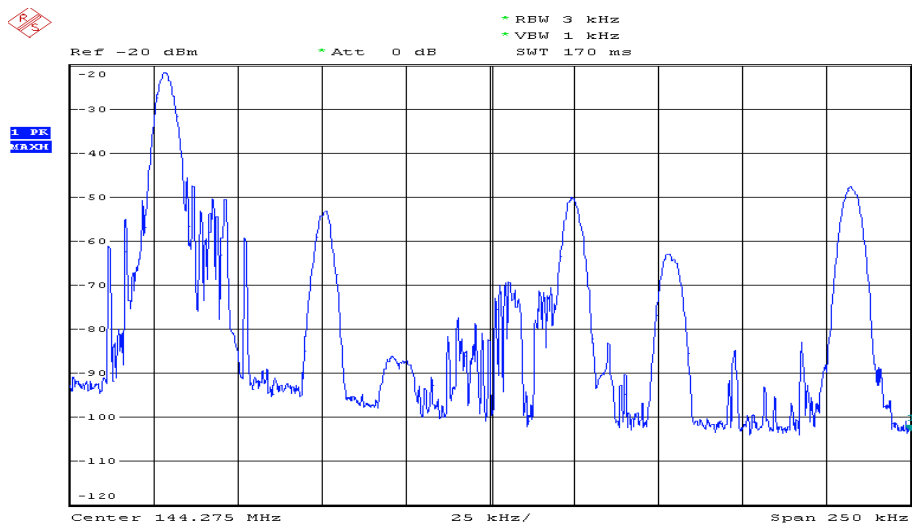
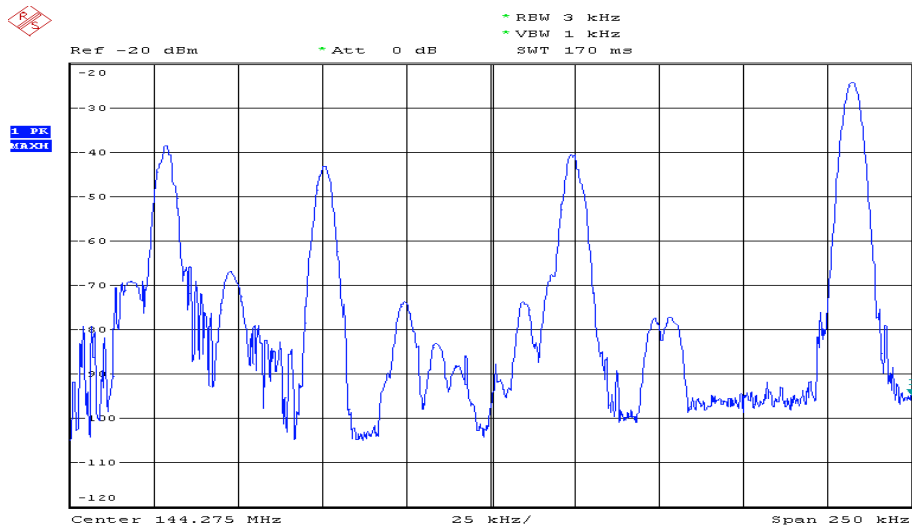


Bild 2 Belegung des 2-m-SSB-Bands am Standort des Autors im Maikontest 2005 in Abhängigkeit der Antennenrichtung; oben: 200° in Richtung zu DK0OX; Mitte: 260° in Richtung zu DL0DR; unten: 350° in Richtung zu DL6IAK/p

Eigenschaften von Sendern und Empfängern und deren Einfluß werden in diesem Abschnitt beschrieben. Es handelt sich im einzelnen um

- mangelnde Selektion der Filter;
- nichtlineare Verzerrungen in Mischern, Verstärkern und auch passiven Elementen;
- additives Rauschen von Verstärkern;
- Seitenbandrauschen von Oszillatoren;
- transiente Effekte, die durch zeitweise Übersteuerung (ALC) zu zusätzlichen nichtlinearen Verzerrungen führen oder durch Modulation unter Umgehung der Filter (CW-Tastclicks) unerwünschte Spektralkomponenten erzeugen.

Bild 3 zeigt die Effekte im Überblick an der Stelle, wo sie entstehen und wirken.

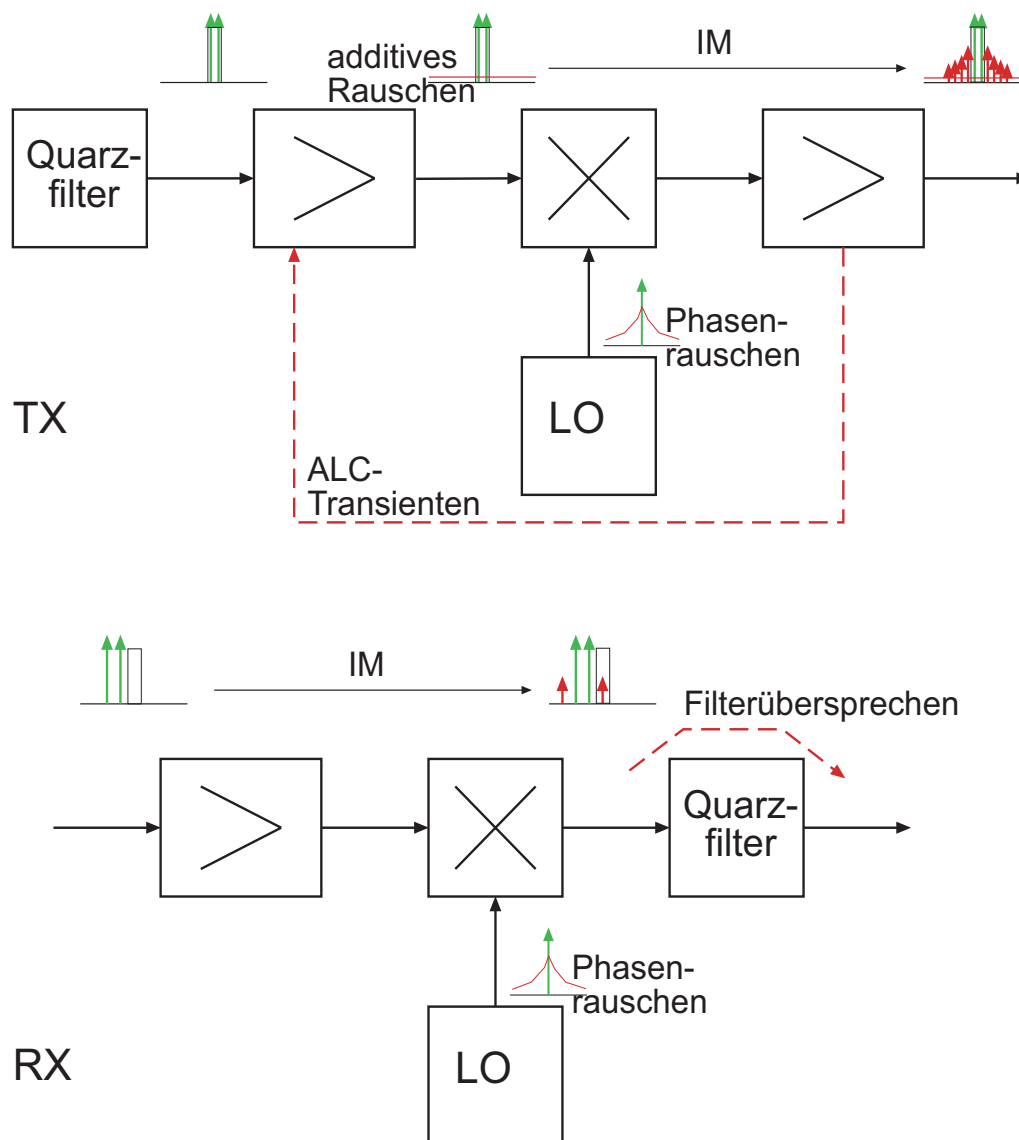


Bild 3 Schematische Darstellung der Großsignaleffekte im Sender (oben) und Empfänger (unten)

3.1 Selektion

Filter in Sendern und Empfängern sollen sicherstellen, daß nur Signale im Nutzkanal gesendet bzw. demoduliert werden. Eine Unterdrückung der unerwünschten Signale um wenigstens 120dB ist anzustreben. Das gelingt mit einem einzelnen Quarzfilter nicht. Bei einfacheren alten Transceivern wie z. B. dem IC202 führt das zu einem Großsignalproblem speziell im Empfänger. Normalerweise besitzen Empfänger aber ein sogenanntes Roofing-Filter, das oft geometrisch weit genug vom Hauptfilter entfernt angeordnet ist, daß insgesamt eine Selektion in der gewünschten Größenordnung erreicht wird. Findet die Selektion zudem - wie auch schon seit langem üblich - bei zwei unterschiedlichen Zwischenfrequenzen statt, so ist das Problem möglichen Übersprechens vom Eingang des ersten zum Ausgang des zweiten Filters vermieden. Die Position dieser Filter im Pegelplan des Senders bzw. Empfängers ist von größerer Bedeutung. Insbesondere im Sender wird das letzte schmalbandige Filter oft bei zu kleinem Pegel betrieben, so daß das Rauschen der darauf folgenden Verstärkerstufe zur dominierenden Störgröße wird - ein unnötiger Designfehler.

Die in KW-Kreisen derzeit gerne diskutierte Bandbreite des Roofing-Filters ist für 2-m-Anwendung unwesentlich, wenn der Pegelplan des Empfängers vernünftig ist und das endgültige Selektionsfilter bald folgt. Im Gegenteil verschlechtern zu schmale Roofing-Filter die Möglichkeiten eines normalerweise zwischen Roofing- und Hauptfilter angeordneten Störaustasters. ZF-DSPs in Verbindung mit einem „normalbreiten“ Roofing-Filter (10 kHz o. ä.) und einem durchdachten Pegelplan sind gut geeignet, die Selektionsanforderungen zu erfüllen.

3.2 Intermodulation und Intercept Point (IP)

Intermodulation ist eine nichtlineare Verzerrung, die u. a. bei Großsignalaussteuerung von Verstärkern, also sowohl im Sende- wie Empfangsbetrieb, entstehen kann. Dennoch müssen die beiden Fälle deutlich unterschieden werden.

Beim Empfänger liegen auch die stärksten Signale noch wesentlich unterhalb der Sättigungsleistung des Eingangsteils. Dann spielen nur die Intermodulationsprodukte dritter Ordnung eine Rolle. Die Beschreibung ist durch die Angabe des Intercept-Punkt (IP₃) ausreichend möglich, wobei dieser vom Trägerabstand der beiden störenden Signale abhängt. Wegen der geringen Zahl sehr starker Signale im 2-m-Band spielt der IP nur eine geringere Rolle, da nur wenige Frequenzen von den Störungen betroffen sind. Der intermodulationsfreie Dynamikbereich typischer Transceiver für 2,5kHz Bandbreite liegt bei 85...95dB, d.h. zwei Signale müssen diesen Pegel erreichen, um zwei weitere Frequenzen dadurch zu blockieren; die Frequenzen dieser IM-Produkte liegen aber u. U. schon außerhalb des SSB-Bands. Erst bei Verwendung eines zusätzlichen Mastvorverstärkers machen sich Intermodulationen stärker bemerkbar, 15dB zusätzliche Verstärkung reduzieren den intermodulationsfreien Dynamikbereich um 10dB. Der IP des Vorverstärkers selbst spielt dafür in der Regel keine Rolle.

Beim Sender sind die Intermodulationsverzerrungen viel stärker und für einen Teil des „Splatter“ verantwortlich. Der Leistungsverstärker wird bis in den Bereich der Sättigungsleistung angesteuert, dadurch steigen auch Intermodulationsprodukte sehr hoher Ordnung auf einen störenden Pegel an. Für die belegte Bandbreite eines starken Signals sind IM-Verzerrungen niedriger (3., 5., 7.) Ordnung, wie sie in Testberichten zum Teil gemessen werden, irrelevant; erst die Verzerrungen der Ordnungen einer Größenordnung von 50 bis 100 erreichen die gewünschte Absenkung von 100dB und mehr. Besonders lineare Verstärker z. B. im A-Betrieb sind bei hohen Sendeleistungen sehr unwirtschaftlich, Linearisierungsverfahren mit so hoher Dynamik kaum beherrschbar.

3.3 Additives Rauschen

Beim Empfänger wird das additive Rauschen der Verstärkerstufen durch deren Rauschzahl und das des Gesamtempfängers durch die Rauschzahl der Kettenschaltung aller Stufen bestimmt. Es ist an sich kein Problem, eine ausreichend niedrige Rauschzahl von $<2\text{dB}$ zu erreichen, nur sollte darauf geachtet werden, daß dies mit dem bestmöglichen Pegelplan, also nicht mehr als der nötigen Verstärkung an der jeweiligen Stelle geschieht. Dazu gehört, daß ein Mastvorverstärker durch Rücknahme der Verstärkung im Empfänger berücksichtigt wird und die gesamte Durchgangsverstärkung eines Transverters der Rauschzahl des nachfolgenden KW-Transceivers angepaßt wird.

Viel zu selten diskutiert wird das additive (breitbandige) Rauschen der Sender. Dessen Hauptverursacher ist die erste Verstärkerstufe nach dem letzten schmalbandigen Filter; hier sollte der Signalpegel geräteintern ausreichend hoch gewählt werden. Das ist fast durchweg nicht der Fall. Verschlimmert wird dieses Breitbandrauschen noch durch Reduzieren der Sendeleistung, wenn diese Reduktion - wie meist üblich, aber völlig unverständlich - vor dem Quarzfilter vorgenommen wird und dadurch das Breitbandrauschen auf dem hohen Pegel erhalten bleibt.

3.4 Seitenbandrauschen von Oszillatoren

Oszillatoren erzeugen keine perfekten Ausgangssignale mit beliebig kleiner spektraler Breite, sondern das reale Oszillatorsignal ist rauschphasenmoduliert und besitzt daher Rauschseitenbänder. Diese führen beim Sender unmittelbar zu Nebensignalen und beim Überlagerungsempfänger durch „reziprokes Mischen“ zu einer dazu äquivalenten Nebenempfangsstelle. Rauscharme Oszillatoren arbeiten mit hoher Oszillatorleistung und möglichst schmalbandigen Schwingkreisen, also mit hoher Güte bei möglichst niedriger Schwingfrequenz. KW-Transceiver mit niedriger ZF sollten hier besser abschneiden als solche mit hoher, diese wiederum wenig besser als 2-m-Transceiver. Ein weiter Abstimmbereich führt zu niedrigeren Schwingkreisgüten und erfordert kleine Oszillatorleistungen, um die stark gekoppelten Kapazitätsdioden nicht zu weit auszusteuern. So hat z.B. das IC275E getrennte VCOs für das Amateurfunkband und für den Breitbandempfang, um eine Beeinträchtigung zu reduzieren.

Die PLL kann je nach Ausführung das Phasenrauschen erheblich verschlechtern, muß das aber nicht notwendigerweise. Eine Verbesserung dadurch ist hingegen im relevanten Frequenz- und Pegelbereich kaum zu erreichen. Quarzoszillatoren können sehr geringes Phasenrauschen erreichen, insbesondere in Trägernähe auf Grund der hohen Schwingkreisgüte. Leider begrenzt die sehr geringe Abstimmbarkeit des Oberton-Quarzoszillators deren Einsatz. Ideale Frequenzvervielfacher erhöhen das Seitenbandrauschen um $20 \cdot \lg N$, d.h. $6\text{dB}/\text{Frequenzverdopplung}$.

3.5 Transiente Effekte

Hierzu zählen Störungen, die sich erst bei Modulation bzw. Tastung oder dem Ein-/Ausschalten bemerkbar machen. Letztere sind in ihrer Auswirkung weniger schlimm und bleiben meist ohne Beachtung.

Tastclicks bei CW-Modulation können durch unzureichende Filterung in der Tastschaltung entstehen, dann ist eine Nachbesserung relativ einfach.

Oftmals ist aber eine zu schnell und stark regelnde ALC sowohl bei CW als auch bei SSB der Hauptgrund für modulationsbedingte Signalüberschwinger. In den Tast- bzw. Sprechpausen erhöht der Sender seine Verstärkung so weit (oft um bis zu 10dB), daß das nächste starke Signal den Ausgangsverstärker total übersteuert und damit alle Maßnahmen der Filterung in der Signalaufbereitung zunichte macht. Auch die dann schnell erfolgende Rückregelung der Verstärkung ist eine

Störmodulation. Je nach Regelgeschwindigkeit können diese Störungen das gesamte Schmalbandsegment oder einen großen Teil davon umfassen. Eine Deaktivierung einer solchen ALC ist fast immer die bessere Lösung. In komplexen Setups muß der Sender sowieso individuell eingepegelt und dies regelmässig überprüft werden, eine automatische Verstärkungsregelung ist da eher von Nachteil.

3.6 Wie machen sich die Effekte bemerkbar?

Zur einfachen Selbstdiagnose einige Hinweise, wie sich die genannten Effekte am Lautsprecher eines Empfängers äußern:

3.6.1 Mangelnde Selektion im Empfänger

Die AGC regelt die ZF-Verstärkung in Abhängigkeit des Störsignals, das NF-Signal im Nutzkanal wird dadurch in der Lautstärke verändert. Möglicherweise wird auch bei Frequenzabständen $< 15\text{kHz}$ das Störsignal frequenzverschoben mit hohem Ton demoduliert.

3.6.2 Intermodulation im Empfänger (IP_3 zu niedrig)

Zwei starke Stationen bei den Frequenzen f_1 und f_2 erzeugen „Phantomsignale“ bei den Frequenzen $2f_1 - f_2$ und $2f_2 - f_1$ (sonst nirgendwo). Bei SSB-Stationen ist es ein unverständliches, etwas verwaschtes/verbreitertes Signal, im CW-Kontext ein (viel besser beobachtbares) CW-Signal mit sinnlosem Rhythmus und seltenem Auftreten. Da immer beide Stationen senden müssen, haben diese Signale einer relativ geringere Auftrittsdauer und -wahrscheinlichkeit.

3.6.3 Senderintermodulation

Das typische „Splatter“-Geräusch, also ein im Takt der Modulation veränderliches breitbandiges Signal, in Trägernähe eher impulsähnlich, trägerfern eher rauschähnlich.

3.6.4 Phasenrauschen im Sender oder Empfänger

Im Empfänger hört man ein mit der Modulation des störenden Senders veränderliches Rauschen, das mit größerem Trägerabstand abnimmt. Der Höreindruck ähnelt einem Aurora-Signal mit sehr starker Spreizung. Es ist ohne zusätzliche Messungen nicht unterscheidbar, ob der Sender oder der Empfänger dafür verantwortlich ist, ebenso ist der Audioeindruck der trägerfernen Senderintermodulation sehr ähnlich.

3.6.5 Breitbandrauschen des Senders

Im gesamten Band steigt das Rauschen an, sobald der Sender eingeschaltet ist, selbst wenn nicht moduliert wird. Der Rauschpegel ist entweder modulationsunabhängig oder - bei starker ALC-Aktion - in Sprech-/Tastpausen erhöht.

3.6.6 ALC-Probleme und Tastclicks

Impulsförmige Störungen, die an den Tastflanken (CW) oder nach kurzen Sprechpausen (SSB) auftreten mit oft sehr großer Bandbreite und relativ großer Amplitude.

4 Messungen und Ergebnisse

Im Zeitraum zwischen Februar 2005 und Februar 2006 wurde in mehreren Meßkampagnen eine größere Anzahl von 2-m-Transceivern und Transverterkombinationen vergleichbar untersucht. Es handelt sich durchweg um anonyme Geräte aus dem Besitz einzelner Funkamateure, zum Teil mit Modifikationen, darauf wird hingewiesen soweit bekannt. Natürlich ist nicht auszuschließen, daß im Einzelfall ein positiver oder negativer Meßausreißer vorliegt und die Ergebnisse nicht seriös sind.

Alle Rauschleistungen sind wenn möglich auf 2,5kHz Bandbreite normiert. Das ist beim Vergleich mit Messungen aus anderen Quellen zu berücksichtigen - zwar ist im professionellen Umfeld der Bezug auf 1Hz Bandbreite üblich, jedoch besteht bei solchen Angaben die Gefahr der Fehlinterpretation durch den mit der Nachrichtentheorie nicht so vertrauten Funkamateurer.

4.1 Statische Messungen

Am Empfänger wurde gemessen :

- die Gesamtrauschzahl durch Ein-/Ausschalten einer kalibrierten Rauschquelle und jeweilige Messung der über 2Sekunden gemittelten Spannung am NF-Ausgang.
- der Intercept-Point mit zwei entkoppelten Meßsendern, Beobachtung des Intermodulationsprodukts am S-Meter und Ersatz dieses Signals durch einen dritten Meßsender zur Kalibrierung; aus den Pegelwerten kann der IP_3 ermittelt werden.
- die Zweisignal-Empfängerdynamik: Zustopfen und reziprokes Mischen durch Empfang eines Nutzsymbols mit 10dB (S+N)/N und Zuführen eines ausreichend rauscharmen Störsymbols, bis das S/N um 3 dB abgenommen hat; diese Signalleistung wird auf den Rauschflur in 2,5kHz Bandbreite bezogen. Die Messung erfolgt bei Trägerabständen von 20, 50 und 200kHz.

Aus Rauschzahl und Intercept-Point kann die Dreisignal-Empfängerdynamik berechnet werden.

Der Sender wurde in CW-Stellung mit Dauerträger betrieben und das erzeugte Spektrum beobachtet; das verwendete Meßverfahren mit Direktumsetzung erlaubt es nicht, die Anteile beider Seitenbänder zu unterscheiden. So erhält man:

- Senderrauschen bei unmoduliertem Träger in 20, 50 und 200kHz Abstand.

Dieser Wert erlaubt den direkten Vergleich mit der Unterdrückung des reziproken Mischens beim Empfänger. Für beide Seitenbandrauschmessungen im Sender und Empfänger wird ein rauscharmer Oberton-Quarzoszillator als Signalquelle verwendet.

Meßfehler können entstehen, wenn die AGC nicht oder nicht vollständig abschaltbar ist; dann wird insbesondere die Rauschzahl zu hoch ermittelt. Das Gleiche passiert bei starkem Rauschen oder Schwingen des NF-Verstärkers selbst. Für die Ermittlung der Pegel von Intermodulationssymbolen wurde das S-Meter benutzt, was gut funktioniert, wenn es ein echtes Analoginstrument ist, hingegen schlechter bei groben Balkenanzeigen.

Die Zweisignal-Empfängerdynamik wird fast immer durch Phasenrauschen und nur selten durch Zustopfen (Blocking) bestimmt. Der ermittelte Wert ist einigermaßen vergleichbar mit dem „Blocking Dynamic Range“ (BDR) nach ARRL-Definition, wenn man vom ARRL-BDR 28dB abzieht (-34dB zur Bandbreitenumrechnung 1Hz / 2,5kHz und +6dB zur Umrechnung von 1dB = 25% Rauschanstieg nach 3dB = 100% Rauschanstieg).

Gerätetyp	NF [dB]	IP ₃ [dBm]	IM-frei [dB]	RX-Blocking [dB]			TX-Rauschen [dB]		
				20kHz	50kHz	200kHz	20kHz	50kHz	200kHz
IC275E	5,6	-7,5	85	98	110	117	-97	-104	-109
IC7000	5,6	-7,5	85	91	94	102	-87	-93	-93
IC746	3,6	-7,5	86	87	95	109	-82	-91	-105
IC821H	3,4	-9	85	80	90	101	-77	-88	-97
IC910H	3,7	-8,5	85	81	89	100	-78	-88	-98
IC202	7,7	-14	79	100	104	107	-100	-102	-102
„Hohentwiel“	11,4 (?)	-5,5	82	96	97	100	-96	-97	-101
FT225RD + Mods	6,1	+7	94	90	90	110	-85	-92	-106
FT817	5,4	-12	82	87	96	106	-83	-91	-96
FT857D	6,1	-2	88	86	96	106	-84	-93	-99
TS700G +Mods	4,9	-13	81	100	108	111	-102	-106	-107
TS700S VV aus	6,6	-7	84	100	107	111	-96	-102	-104
TS790E	4,5	-14,5	81	103	104	109	-84	-94	-95

Tabelle 1 Übersicht der Meßergebnisse an 144-MHz-Transceivern; Modifikationen der getesteten Geräte sind im Text beschrieben; die bezüglich Phasen- und additivem Senderrauschen besten Geräte sind markiert.

Tabelle 1 zeigt die Meßergebnisse für die 144-MHz-Transceiver im Überblick. Die Geräte aus aktueller Produktion oder der jüngeren Vergangenheit erzeugen durchweg ein untragbar starkes Rauschen im Sender - in der eingangs dargestellten Situation am Standort des Autors würde der Rauschpegel der drei stärksten Stationen im gesamten Schmalbandsegment wenigstens 10...20dB betragen, so daß kein vernünftiger Betrieb möglich wäre. Glücklicherweise benutzen zwei der drei Stationen bessere Geräte.

„Hohentwiel“ und mit Einschränkungen IC202 und TS700G zeigen, daß das Rauschen des Senders nicht größer sein muß als das durch den LO dominierte Phasenrauschen des Empfängers. Der getestete FT225RD war stark modifiziert und kann daher nicht als serientypisch gelten. Der TS700G hat einen anderen Transistor im Eingangsverstärker und beim „Hohentwiel“ wurden einige Veränderungen vorgenommen, außerdem war die Rauschzahlmessung im Ergebnis unsicher.

Zusätzliche Probleme z. B. diskrete Nebenwellen durch geschaltete Stromversorgungen, Display-signale u. ä. werden in der Tabelle nicht genannt, können die Situation aber in der Realität schlechter machen; ebenso transiente Effekte im Sender, die im nächsten Abschnitt behandelt werden..

Gerätetyp	NF [dB]	IP ₃ [dBm]	IM-frei [dB]	RX-Blocking [dB]			TX-Rauschen [dB]		
				20kHz	50kHz	200kHz	20kHz	50kHz	200kHz
Elecraft K2/XV144	6	-26,5	72	95	100	101	-93	-92	-93
TS850 + LT2S	3,7	-26,5	73	100	102	104	-93	-100	-103
TS870 + LT2S	4,9	-6	86	98	104	112	-95	-100	-104
IC735 + LT2S				101	106	113			
FT1000MP + LT2S				97	104	113			
FT1000MPMarkV + TR144H	1,7	-12,5	84	97	106	118	-91	-99	-101

Tabelle 2 Übersicht der Meßergebnisse an Transceiver-/Transverterkombinationen mit 28MHz ZF.

Tabelle 2 zeigt die untersuchten Kombinationen aus KW-Transceiver und Transverter bei 28 MHz Zwischenfrequenz. Das Niveau ist nicht viel besser als das der Stand-alone-Transceiver, wobei die Ausreißer nach unten nicht ganz so schlimm ausfallen. Beim Elecraft K2 und beim TS850 waren jeweils der geräteinterne Vorverstärker eingeschaltet, da die Rauschzahl sonst noch schlechter ausgefallen wäre. Das hat deutliche Konsequenzen auf den intermodulationsfreien Dynamikbereich. Bei der anderen Kombinationen war der geräteinterne Vorverstärker des KW-Transceivers jeweils ausgeschaltet. Aus Zeitgründen wurden nicht alle Kombinationen und nicht alle Messungen getestet.

Gerätetyp	NF [dB]	IP ₃ [dBm]	IM-frei [dB]	RX-Blocking [dB]			TX-Rauschen [dB]		
				20kHz	50kHz	200kHz	20kHz	50kHz	200kHz
Orion + Javornik		0					-93	-88	-99
TS870 + Javornik	1,9	-1,5		95	103	112	-92	-97	-99
IC735 + Javornik		-3,5		106	115	117			
FT1000MP + Javornik	1,4	+1	93	100	115	118	-98	-106	-110
Elecraft K2 + TR144H40	1,0	-9	87	96	103	114	-90	-95	-96
IC746 + TR144H40	1,2	-5,5	89	99	106	119			
FT1000MPMarkV + TR144H40	1,3	-3	90	104	113	120			
FT1000MPMarkV + TR144H	1,6	-7,5	87	97	106	118	-91	-99	-101

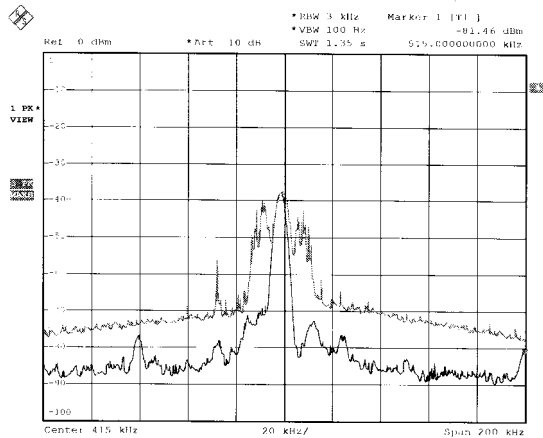
Tabelle 3 Übersicht der Meßergebnisse an Transceiver-/Transverterkombinationen mit 14MHz ZF.

Schließlich bleiben noch die Messungen mit einer Zwischenfrequenz von 14MHz. Hier finden sich die „am wenigsten schlechten“ Gerätekombinationen, Ausreißer finden sich keine wegen der besser Abstimmung zwischen Transceiver und Transverter z.B. in der Empfangsverstärkung. In allen Fällen war der geräteinterne Vorverstärker ausgeschaltet. Die markierte Kombination FT1000MP+Javornik, die über alles die besten Eigenschaften hat, profitiert davon, daß der Javornik-Transverter [8] in Verstärkung, IP₃, Sendepiegel u.a. speziell auf diesen Transceiver abgestimmt wurde. Allerdings fehlt auch dieser Kombination noch ein gutes Stück (mehr als 10 dB) zum „störungsarmen“ Kontestbetrieb, und wie der nächste Abschnitt zeigen wird, gibt es leider weitere, aus den Meßwerten der Tabelle nicht erkennbare Probleme.

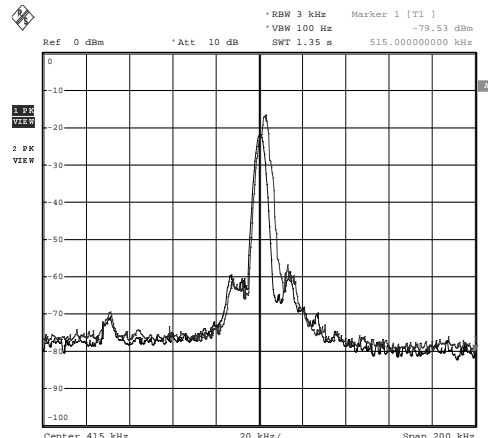
4.2 Dynamische Messungen

Da das Seitenbandrauschen auch der besten Spektrumanalysator viel zu schlecht ist, um direkt Ausgangsspektren relevant darstellen zu können, wurde ein spezieller Meßaufbau erstellt. Dazu wird das zu untersuchende Sendesignal auf eine niedrige Zwischenfrequenz bei 415kHz mit Hilfe des rauscharmen Quarzoszillators umgesetzt und dort einem Notchfilter zugeführt, das den Träger und die in dessen Nähe liegenden starken Signalanteile um min. 30dB unterdrückt. Dadurch wird der Spektrumanalysator in diesem Umfang entlastet und es können das Seitenbandrauschen des Senders sowie Senderintermodulation und Transienten dargestellt werden. Die dargestellten Spektren umfassen eine gesamte Bandbreite von 200kHz, wobei in der Mitte etwa 25kHz abgeschnitten sind. Die Signalleistung wird stets so justiert, daß sie (ohne Notch) 20dB oberhalb der Referenzlinie liegt. Bei allen Messungen liegt das Senderrauschen über dem Eigenrauschen des Spektrumanalysators. Um möglichst viele Transienten zu erfassen wird der Analysator im „MAX HOLD“-Modus betrieben. Dadurch und durch die fehlende Spiegelselektion wird das Senderrauschen stär-

ker dargestellt; relative Aussagen sind aber dennoch möglich. In den folgenden Bildern sind immer das Spektrum mit CW-Dauerträger und das Spektrum bei normaler SSB-Modulation übereinandergeschrieben..

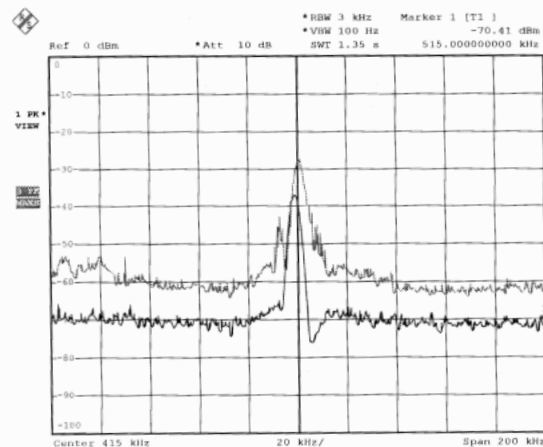


Date: 23.JUL.2005 15:11:22



Date: 4.FEB.2006 20:41:02

Bild 4 Spektrum FT1000MP mit Javornik (links) und FT1000MPMarkV mit TR144H (rechts)



Date: 4.FEB.2006 17:04:18

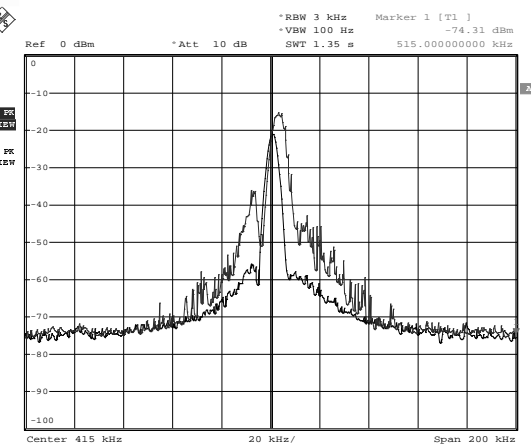
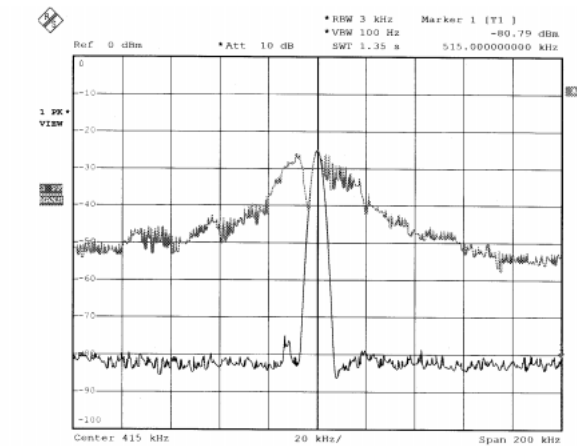
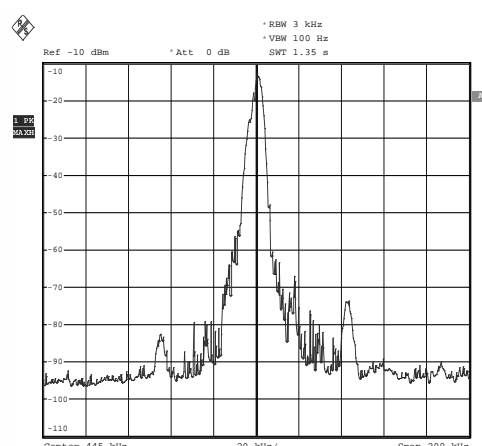


Bild 5 Spektrum IC746H mit 4W auf TR144H (links) und FT857D (rechts)



Date: 23.JUL.2005 15:19:20



Date: 10.FEB.2006 00:15:08

Bild 6 Spektrum IC202 (links) und IC275E (rechts)

Bild 4 zeigt im Vergleich den FT1000MP (ALC in Funktion) und den FT1000MPMarkV (ALC abgeschaltet). Es ist zu erkennen, daß der an sich fast 10dB bessere Senderrauschabstand der lin-

ken Kombination durch die ALC in den Sprechpausen zunichte gemacht wird. Um das besonders deutlich darzustellen, wurde im linken Bild in SSB ausnahmsweise nicht moduliert.

Bild 5 zeigt links das erzeugte Senderspektrum eines auf 4W Sendeleistung reduzierten IC746, das bei 14MHz einen TR144H40 speist. Durch die geringe Sendeleistung regelt die ALC bei SSB in den Sprechpausen die Verstärkung so hoch, daß eine wahrer Rauschgenerator entsteht. Zum Vergleich rechts ein FT857D, der ein typischer Vertreter der meisten moderneren Transceiver mit unnötig hohem Senderrauschen ist

In Bild 6 ist links ein IC202 dargestellt, dessen SSB-Spektrum fürchterlich aussieht - ob es am fehlenden Ruhestrom einer Stufe liegt, konnte nicht geklärt werden. Aber der Eigentümer ist damit als Nachsetzer für den GHz-Bereich QRV... - rechts das Spektrum eines IC275E, dessen ALC-Aktion durch einen Neuabgleich reduziert war. Erkennbar sind aber diskrete Nebenwellen bei ± 41 kHz vom internen Schaltnetzteil, mit externer 12-V-Versorgung war dies das (in 50 / 200 kHz Abstand) rauschärmste Spektrum im SSB-Betrieb .

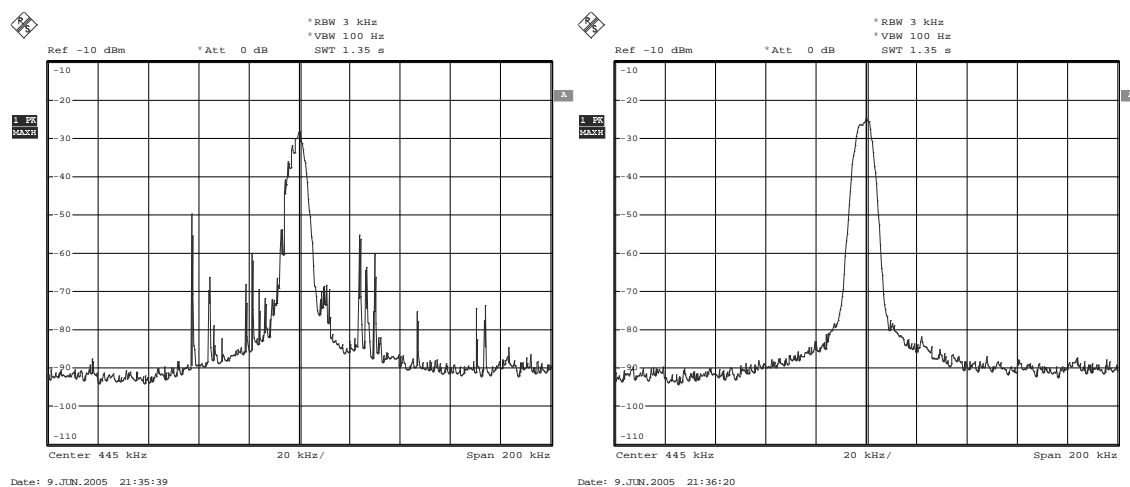


Bild 7 Spektrum FT817 mit normaler Sprachmodulation (links) und beim Besprechen mit einem langgezogenen „Aaaaa“ (rechts)

Bild 7 zeigt noch einmal deutlich die negative Wirkung des ALC-Einschwingens am Beispiel des FT817. Mit einem „Aaaa“ moduliert regelt die ALC nicht, bei normaler Sprache führt die Regelwirkung zu erheblichen transienten Störungen

5 Verbesserungsmöglichkeiten

5.1 Transverterbetrieb

Konzeptionell ist eine Station aus üblichem Kurzwellentransceiver und Transverter dem optimierten Einbandtransceiver nicht unbedingt vorzuziehen, die Messungen zeigen aber, daß die besseren Stationen so aufgebaut sind. Wichtig ist dabei insbesondere, daß verschiedene KW-Transceiver bei unterschiedlichen Bändern ihre besten Eigenschaften haben - der TS870 ist bei 28MHz besser als bei 14MHz, der FT1000 umgekehrt. Insgesamt scheint eine ZF von 14MHz besser abzuschneiden und sollte deshalb bevorzugt verwendet werden.

Der gesamte Pegelplan in Sender und Empfänger muß bei einer derartigen Kombination sinnvoll gewählt werden. Der Empfangskonverter einschließlich Mastvorverstärker sollte etwa 10dB mehr

Verstärkung erreichen als die Rauschzahl des KW-Nachsetzers bei abgeschaltetem internen Vorverstärker - das sind typischerweise 25...30dB. Der Sendemodulator sollte mit maximaler verfügbarer Transverterausgangsleistung des KW-Senders angesteuert und dessen Verstärkung intern hinter dem Mischer und der ersten 144-MHz-Verstärkerstufe angepaßt werden - jedenfalls bei den üblichen Transverterausgangsleistung <-10dBm.

Der Problematik transienter Störungen gebührt besondere Aufmerksamkeit, und die Situation ist leider unübersichtlich. Z.B. ist bei einem FT1000MP die ALC bei Transverterbetrieb eingeschaltet, bei einem FT1000MPMarkV in Menükonfiguration „PA off“ nicht. Diesen Menüpunkt gab es bei dem untersuchten FT1000MP aber nicht! - möglicherweise ist das Verhalten auch noch firmwareabhängig. Angesichts der erheblichen Beeinträchtigungen durch solche Störungen gibt so ein intransparentes Verhalten für die Hersteller ein sehr schlechtes Bild ab. Auch Geräte wie das IC7800 sind davon betroffen [2]. Bei einem IC275E z.B. läßt sich die Sendeverstärkung an einem Poti manuell reduzieren und damit die ALC (bei nicht reduzierter Sendeleistung) weitgehend deaktivieren, allerdings um den Preis, daß die ALC dann Temperatur- und Frequenzabhängigkeit nicht mehr kompensieren kann.

5.2 Zusätzliches Quarzfilter

Da die meisten verwendeten Transverter deutlich besser als die KW-Nachsetzer sind, kann es sinnvoll sein, ein zusätzliches Filter - bevorzugt ein Quarzfilter - in der ZF bei 14,xxx MHz einzuschleifen. Diese Konfiguration eignet sich insbesondere für die Conteststation mit „Hausfrequenz“ - das Filter sollte aber in der Bandbreite so bemessen sein, daß der Bandbelegung angepaßt ein wenig nach unten und oben ausgewichen werden kann. Ein Versuchsaufbau mit zwei normalen Oszillatorquarzen und einer -1-dB-Bandbreite von 11 kHz wurde realisiert. Leider stören die immer oberhalb der Serienresonanzfrequenz liegenden Nebenresonanzen stark, so daß die Nutzbarkeit etwas eingeschränkt ist. Das Zusatzfilter sollte einerseits abschaltbar sein, muß andererseits aber unbedingt auch im Sendebetrieb eingeschleift werden!

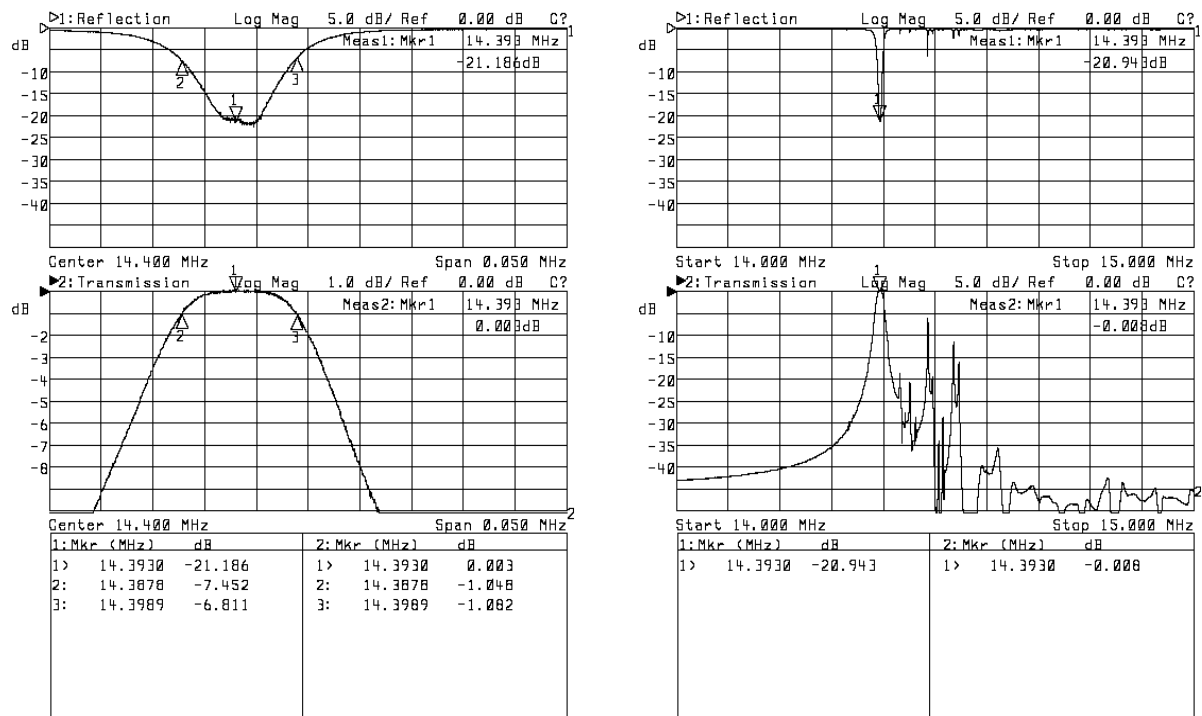


Bild 8 Zweipoliges Quarzfilter für 14,393MHz (USB) für DR9A. Meßergebnis mit Nebenresonanzen.

In OK wurde von mehreren „großen“ Kontestationen das gleiche Prinzip mit einem ganzen Satz modifizierten 21,4-MHz-Quarzfiltern bei einer ZF von 21 MHz realisiert [9], so daß der gesamte Schmalbandbereich mit schaltbaren Filtern abgedeckt werden kann. Allerdings ist ein solcher Filtersatz recht teuer.

5.3 Erhebliche Modifikationen und Eigenbau

Durch Modifikationen in Fertigeräten kann man versuchen, die erkannten Schwachpunkte zu beseitigen. Insbesondere sollte eine schlecht funktionierende ALC deaktiviert werden. Eine Änderung des Pegelplans im Sender zu höheren Pegel am Quarzfilter wird meist schon schwieriger zu erreichen sein. Der Austausch des Empfängereingangsteils ist in der Vergangenheit ebenfalls gelegentlich praktiziert worden und kann bezüglich der Dreisignaldynamik (und auch in anderen, hier nicht untersuchten Punkten wie dem AGC-Einsatz) deutliche Verbesserungen bringen.

Schließlich bleibt die aufwendige und nur selten umsetzbare Möglichkeit des kompletten Eigenbaus. Dann kann auch versucht werden, durch möglichst gute Oszillatoren die Rauschseitenbänder des Senders wie des Empfängers zu minimieren und dadurch die Zweisignaldynamik auf das gewünschte Maß zu verbessern. Für geringes Phasenrauschen sollten der Oszillatorschwingkreis möglichst schmalbandig und die Oszillatorleistung hoch sein.

Wer den kompletten Eigenbau scheut, kann in ähnlicher Weise auch einen Transverter mit abstimmbarer Umsetzfrequenz mit einem KW-Transceiver bei einer Festfrequenz von z.B. 10,7MHz und zwischengeschaltetem Quarzfilter kombinieren. Die Bedienung einer solchen Station wäre allerdings gewöhnungsbedürftig.

6 Zusammenfassung

Die Beschäftigung mit der QRM-Problematik und die durchgeführten Messungen haben dem Autor und den anderen Beteiligten eine ganze Reihe neuer Erkenntnisse geliefert, von denen einige hier noch einmal aufgezählt werden sollen:

- Die größeren Probleme liegen beim Sender. Das ist insoweit nachvollziehbar, als dazu bisher weit weniger Messungen in Gerätetests durchgeführt wurden ([2] bildet eine Ausnahme) und dadurch kaum Druck auf die Hersteller ausgeübt wird. Aber auch bei Diskussionen mit Betroffenen fällt auf, daß das Interesse am Verhalten des Empfängers größer ist als an dem des Senders.
Um meine eigene QRM-Situation zu verbessern, muß ich aber erst einmal den Sender meines Nachbarn optimieren!
- Bezüglich Sender-Breitbandrauschen sind alte Geräte oft besser als moderne. Eine bewußte Reduktion der Sendeleistung verschlechtert die Qualität des Sendesignals fast immer und sollte nicht vorgenommen werden.
- Statische Messungen am Sender genügen nicht angesichts der eklatanten Entwicklungssünden im Bereich ALC, Leistungsregelung und Tastung.
- Der Teufel steckt im Detail. Um die eigene oder eine fremde Station optimieren zu können, braucht es eine Menge Erfahrung und/oder geeignete Meßtechnik. Auch weniger offensichtliche Komponenten wie z. B. die Stromversorgung müssen in die Untersuchung einbezogen werden.
- „Alles Murks!“ - alle untersuchten Transceiver waren von dem, was billigerweise zu fordern und mit ausreichender Sorgfalt auch zu erreichen wäre, ein gutes Stück entfernt.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß der Empfänger-Interceptpunkt bei 2-m-Transceivern nur ein weniger wichtiges Kriterium unter mehreren für die Großsignalverträglichkeit ist.

Der Autor dankt allen Beteiligten, u. a. den Kontestern von DF0OL, DJ0QZ, DK0A, DK0BN und DR9A, die teilweise weite Anfahrten in Kauf genommen und große Mengen Material transportiert haben, um die Vergleichsmessungen zu ermöglichen.

Die Messungen und Versuche werden weiter fortgesetzt, wer ein „interessantes“ Gerät besitzt, ist gerne eingeladen, den Autor zu kontaktieren und einen Meßtermin zu vereinbaren. Über die Ergebnisse wird laufend auf [10] berichtet.

Ebenso sind die Webseiten von Leif Asbrink, SM5BSZ, [4] eine gute und zuverlässige Informationsquelle; beim Nordic VHF Meeting in Annaboda 2005 hatte der Autor die Gelegenheit, ein mitgebrachtes Gerät vergleichsweise bei SM5BSZ zu messen, mit hervorragender Übereinstimmung zu den eigenen Ergebnissen.

7 Referenzen

- [1] Rech, W.-H., DF9IC: QRM im Kontest? - Meßergebnisse von 2 m-Stationen. Skriptum der GHz-Tagung Dorsten 2006.
- [2] Asbrink, Leif, SM5BSZ: Real life dynamic range of modern amateur transceivers. DUBUS 2/2005, 22-37.
- [3] Asbrink, Leif, SM5BSZ: Der Dynamikbereich von 2-m-Geräten. UKW-Berichte 4/81, 228-235
- [4] <http://www.sm5bsz.com/>
- [5] Testberichte von Günter Schwarzbeck DL1BU in cq-DL ca. 1975-1985, z. B. 3-Watt-Kleintransceiver für SSB und CW von ICOM IC202S für 144MHz, IC402 für 432MHz. cq-DL 3/79, 102-107, und cq-DL 4/79, 159-163.
- [6] McKenzie, Angus, G3OSS: The Buyer's Guide to Amateur Radio. RSGB: Herts 1986.
- [7] Wyns, P., ON7WP, Pauwelks, P. ON7BPS: Transceiver-Party der Kontester: Welcher is der Beste für UKW? FUNKAMATEUR 6/06, 640-643.
- [8] <http://lea.hamradio.si/%7Es53ww/xvrt/xvrt.htm>
- [9] http://home.karneval.cz/00000104/preselector/preselect_quarz_filter.htm (Vladimir Petrzilka, OK1VPZ)
- [10] <http://www.df9ic.de>