<u>Dynamik von 144MHz Amateurfunk Transceivern.</u> <u>Teil 2: Messungen der Sender</u>

Von François, HB9BLF

Im vorangegangenen Artikel (Teil 1) wurde die Berechnung der Ausbreitung im Freiraum zwischen zwei 144MHz Stationen vorgestellt. Die Friis Formel für die Kalkulation des empfangenen Signals in Funktion der Sendeleistung, der Frequenz, der Distanz zwischen Sender und Empfänger und dem Gewinn von TX und RX Antennen wurde erklärt.

Ein Berechnungsbeispiel wurde mit zwei Contest-Stationen in 60km Distanz voneinander beschrieben, bei denen die Antennen gegeneinander gerichtet sind. Der Pegel des empfangenen Signals ($P_{RX} = -16dBm$) wurde mit dem von den Antennen erzeugten Rauschen am Empfängereingang ($P_{RNOISE} = -135dBm$) verglichen. Die Dynamik des empfangenen Signals (119dB) ist dabei das Verhältnis zwischen der Signal-Amplitude und dem Rauschen.

Es wurde gezeigt, dass für einen störungsfreien Betrieb eine Dynamik von mehr als 120dB beim Sender und Empfänger notwendig ist. Das vom Sender ausserhalb des Sendekanals erzeugte Rauschen muss also 120dB tiefer als sein Nutzsignal sein, und der Empfänger muss ein "sauberes" Signal mit starker Amplitude ertragen können, ohne selbst störende Artefakte zu generieren.

Wir haben die Dynamik von 19 verschiedenen 144MHz Transceivern gemessen. Dieser Artikel (Teil 2) ist den Messresultaten der Sender gewidmet; der nächste Artikel (Teil 3) wird die Messresultate der Empfänger zum Thema haben.

Ein detaillierter Bericht (Französische Version) steht auf der Webseite www.hb9ww.org/technique/divers zur Verfügung. Er wird regelmässig auf den neusten Stand gebracht.

Die Messmethode

Bild 1 zeigt den Messplatz mit den Messgeräten.

Für den Test der Sender hatten wir folgende Geräte im Einsatz:

- Spektrum Analysator von Rohde & Schwartz « FSP » (9kHz 13GHz)
- 50Ω-Lastwiderstand und Dämpfungsglied 200W/-30dB
- Richtkoppler (-38dB)
- Watt-Meter von "Daiwa"
- Sperrfilter mit Quarzen, auf 144.300MHz zentriert (OM-made)

Wir haben damit das Rauschen gemessen, das vom Sender ausserhalb seines Sendekanals erzeugt wird. Diese Messungen wurden in Abständen von 10, 20, 50, 100, 200 und 300kHz von der Sendefrequenz durchgeführt. Zuerst wurde in CW, dann in SSB gemessen – mit und ohne Modulation durch das Mikrofon.

Das elektrische Schema des Messsystems ist in <u>Bild 2</u> zu sehen. Der Senderausgang ist am $200W/50\Omega$ Lastwiderstand über einen Richtkoppler (-38dB) angeschlossen. Der Lastwiderstand hat auch noch einen -30dB Ausgang.

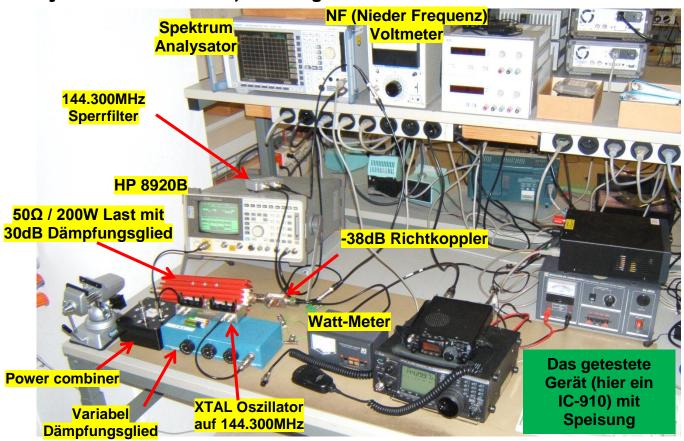


Bild 1: Der Messplatz

Vorgehen: Die Sendefrequenz wird auf 144.300MHz und die Leistung des Senders wird ein bisschen unter seinen maximalen Wert eingestellt. Bei Geräten, die zwischen 50 und 100W liefern können, benützen wir das zu messende Signal am Richtkoppler-Ausgang (-38dB). Für Geräte, die weniger Leistung liefern können, messen wir das Signal direkt am Ausgang des 200W Dämpfungsgliedes (-30dB).

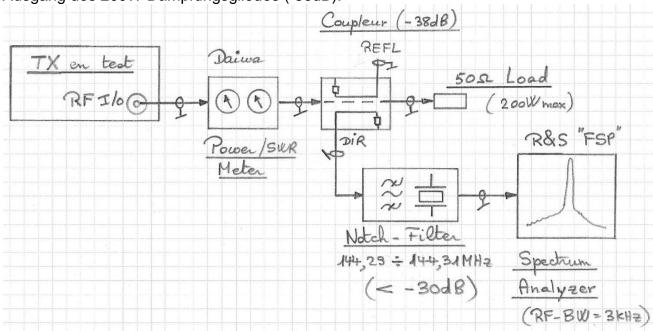


Fig. 2: Schema des Messsystems für die Sender

Das zu messende Signal wird zuerst direkt mit dem Spektrum Analysator verbunden. Die TX Leistung wird so eingestellt, dass man eine 10mW (+10dBm) Leistung am Spektrum Analysator erhält. Bild 3 zeigt ein Beispiel. Die Bandbreite-Auflösung des Spektrum Analysators ist auf RBW=3kHz gestellt, was ungefähr der 2.5kHz Bandbreite eines SSB Signals entspricht.

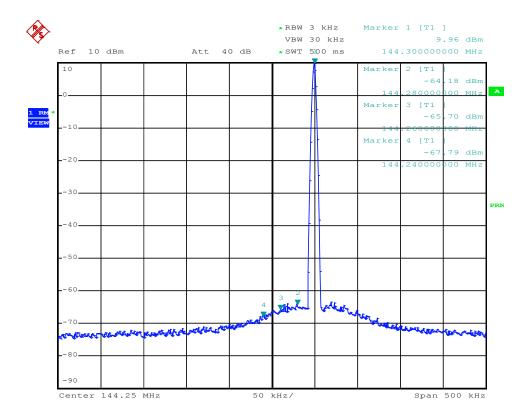


Bild 3: Messung des CW Signals ohne Sperrfilter

In <u>Bild 3</u> sehen wir einen Pegel zwischen -64dBm und -67dBm zwischen den Frequenzen 144,240MHz und 144,280MHz. Dies entspricht einem Rauschpegel – in Bezug auf die Leistung des CW-Trägers – von -74 bis -77dB. Diese Werte entsprechen aber nicht der Realität. Sie werden einerseits durch die begrenzte Empfindlichkeit des Spektrum Analysators und andererseits durch eine parasitäre Mischung mit dem Oszillator des Spektrum Analysators verursacht.

Um diese Messartefakte zu beseitigen, setzen wir vor dem Spektrum Analysator ein Sperrfilter ein. Das Sperrfilter ist mit Quarzen ausgerüstet und auf 144,300MHz zentriert. Es erzeugt eine starke Dämpfung (-60dB) auf der Frequenz 144,300MHz. Dies erlaubt uns, die Empfindlichkeit des Spektrum Analysators zu erhöhen, ohne irgendeine Sättigung am Analysator Eingang zu riskieren (Ref-Level → -30dBm, Attenuator → OFF). Jetzt können wir das Sender-Spektrum links und rechts von der zentralen Frequenz mit genügender Empfindlichkeit beobachten.

<u>Bild 4</u> zeigt den Frequenzgang des Sperrfilters. <u>Bild 5</u> zeigt das Rausch-Spektrum eines "guten" Senders, durch das Sperrfilter gemessen.

Dynamik 144MHz TRX; Messungen an TX

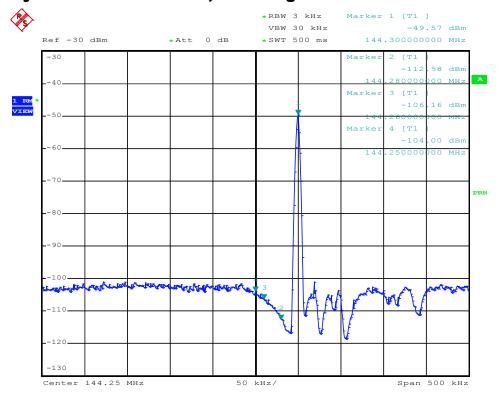


Bild 5: Messung (durch das Sperrfilter) eines CW Signals eines "guten" Senders

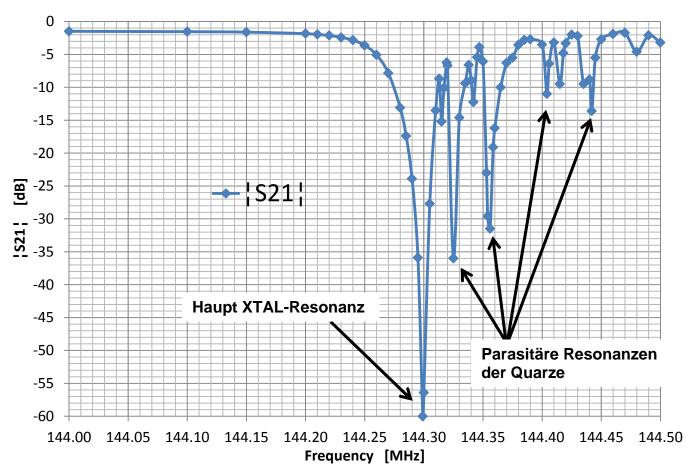


Bild 4: Frequenzgang des XTAL-Sperrfilters

Das Sperrfilter hat zwei Quarze gegen Masse in Serieresonanz auf 144,300MHz. Diese Quarze sind in einer Schaltung zusammen mit Spulen und Kondensatoren verbunden (Schema im erwähnten Messbericht vorhanden). Im Frequenzgang auf Bild 5 sieht man eine starke Dämpfung (-60dB) auf 144,300MHz. Oberhalb dieser Frequenz sehen wir Stellen, die weniger tief gedämpft sind. Diese «Löcher» werden durch parasitäre Resonanzen der Quarze erzeugt. Diese liegen immer <u>über</u> der Hauptresonanz und haben auch eine "kleinere Güte" (Grösserer Seriewiderstand).

Die Messung des Senderrauschens wird bei Frequenzen unterhalb der TX Frequenz gemacht (In der sauberen Zone des Filters). Das TX-Spektrum ist in der Regel um die zentrale Frequenz herum symmetrisch.

Die Dynamik des Sendesignals ist das Verhältnis zwischen der Sendeleistung (Ref. Level = +10dBm) und dem Rauschen (in einer "SSB" Bandbreite BW = 3kHz gemessen). Die Dämpfungen des Filters werden kompensiert (-12.3dB @ 144.280MHz, -4.9dB @ 144.260MHz, -1.8dB @144.200MHz, usw.). Die Dynamik (Signal/Noise Verhältnis) wird bei jedem Frequenzoffset wie folgt berechnet:

$$Dyn_{TX}[dBm] = P_{TX}[dBm] - P_{NOISE}[dBm] + G_{XTAL-FILTER}(dB)$$

CW, 10W out; Durch -30dB Dämpfungsglied $\Rightarrow P_{TX} = +10dBm$ (Ref. Level)						
Frequenz [MHz]	Noise Pegel P_{NOISE} [dBm]	Dämpfung im Sperrfilter $G_{XTAL-FILTER}(dB)$	S/N Verhältnis [dB] (TX Dynamik)			
144.280	-112.6	-12.3	110.3			
144.260	-106.2	-4.9	111.3			
144.250	-104.0	-3.5	110.5			
144.240	-102.8	-2.8	110.0			
144.200	-101.9	-1.8	110.1			
144.150	-102.5	-1.6	110.9			

Tabelle 1: Berechnung des S/N (Dynamik) des CW Signals der "OM-made" STN

Die Tabelle 1 basiert auf den Bildern 4 und 5. Sie gibt die Rauschpegel des "OM-made" Transceivers bei verschiedenen Frequenzabständen (CW) von der Sendefrequenz wieder. Das Rauschen des Geräts hat eine konstante Amplitude zwischen 144.000MHz und 144,280MHz, die 110dB unter der Amplitude des CW Trägers liegt. Dieses Resultat ist leider ungenügend, es liegt 10dB unter dem Zielwert von 120dB.

Anschliessend wurden die Messungen noch in SSB durchgeführt, mit und ohne Mikrophon-Modulation.

Als weiteres Beispiel zeigen die <u>Bilder 6a und 6b</u> das Rauschspektrum eines IC-7400 in SSB (CQ-Ruf, Bild 6a) und in SSB aber ohne Mikrophon-Modulation (Bild 6b). In Bild 6a liegt das Rauschen 10 bis 20dB höher als bei den Messungen der "OM-made" STN (Bild 4). Dies ist nicht etwa "Splatter" sondern Rauschen. Dieses Rauschen nimmt mit einer $1/\Delta f^2$ Funktion ab. Eine Verdoppelung des Frequenzabstandes verursacht eine -6dB Verminderung des Rauschens. Dies entspricht der üblichen Rauschkurve eines VFO's.

Ab F=144,100MHz und tiefer nimmt das Rauschen nicht mehr ab. Bei diesen Frequenzen ist das Rauschen des VFO's nicht mehr massgebend. Hier dominiert das weisse

Dynamik 144MHz TRX; Messungen an TX

Seite 6/12

Rauschen der HF-Verstärkungskette. Mit einem Pegel von -101dB tiefer als das Nutzsignal, ist das Rauschen bei Frequenzen unterhalb 144,100MHz gleich – mit oder ohne Modulation durch das Mikrofon (Bild 6b).

Dynamik 144MHz TRX; Messungen an TX

Seite 7/12

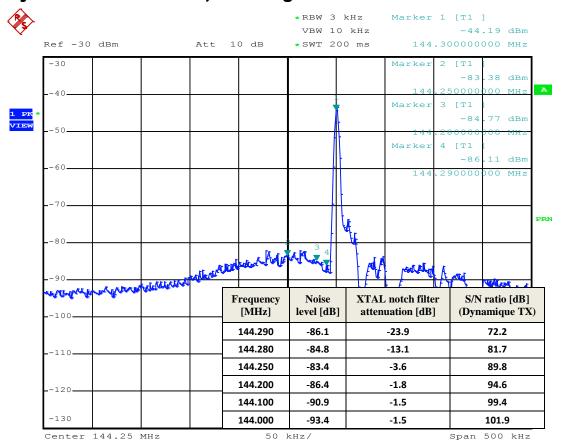


Bild 6a: IC-7400. Rausch-Spektrum in SSB; CQ-Call

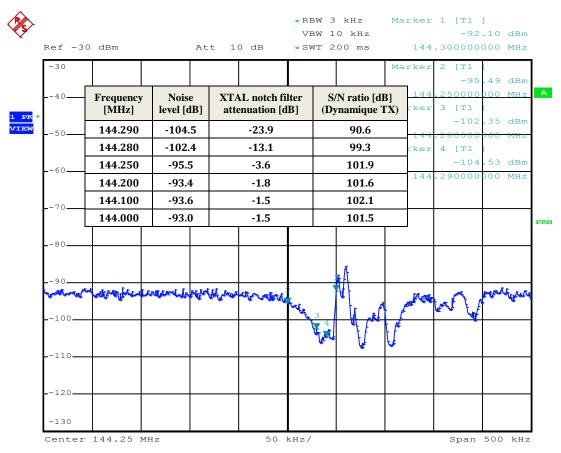


Bild 6b: IC-7400. Rausch-Spektrum in SSB, ohne Mikrophon-Modulation

Dynamik der 144MHz Sender: Resultate.

Tabelle 2 zeigt das Signal/Rausch-Verhältnis der gemessenen Geräte in CW bei verschiedenen Frequenzabständen. Das Rauschen in SSB mit Modulation war im Allgemeinen gleich wie in CW; mit einer Ausnahme: dem FT-736. Bei diesem Gerät werden die Messresultate in CW und SSB deshalb separat dargestellt.

<u>Gerät</u>	Signal / Rausch Abstand in CW [dBc], in einer 3KHz "SSB" Bandbreite gemessen				
Frequenz Offset →	∆f = 20kHz	$\Delta f = 50kHz$	$\Delta f = 100kHz$	$\Delta f = 200kHz$	
OM-made	-110	-110	-110	-111	
K3-TCVR144	-95	-100	-102	-105	
IC-202-S	-85	-100	-101	-102	
IC-251-E	-95	-99	-100	-101	
IC-275	-92	-98	-100	-102	
TS-2000	-84	-94	-98	-102	
FT-736-R (SSB)	-81	-94	-95	-106	
FT-817	-88	-94	-94	-94	
FT-897	-82	-91	-94	-92	
FT-857	-84	-91	-93	-96	
IC-7400	-80	-90	-96	-101	
IC-7000	-88	-91	-93	-95	
KX3-TCVR144	-85	-90	-92	-94	
IC-910	-79	-89	-92	-97	
TS-790E	-81	-89	-90	-89	
FT-225-RD original	-82	-88	-95	-103	
FT-991-A	-78	-81	-83	-85	
FT-736-R (CW)	-73	-79	-86	-99	
TS-700	-68	-67	-96	-101	

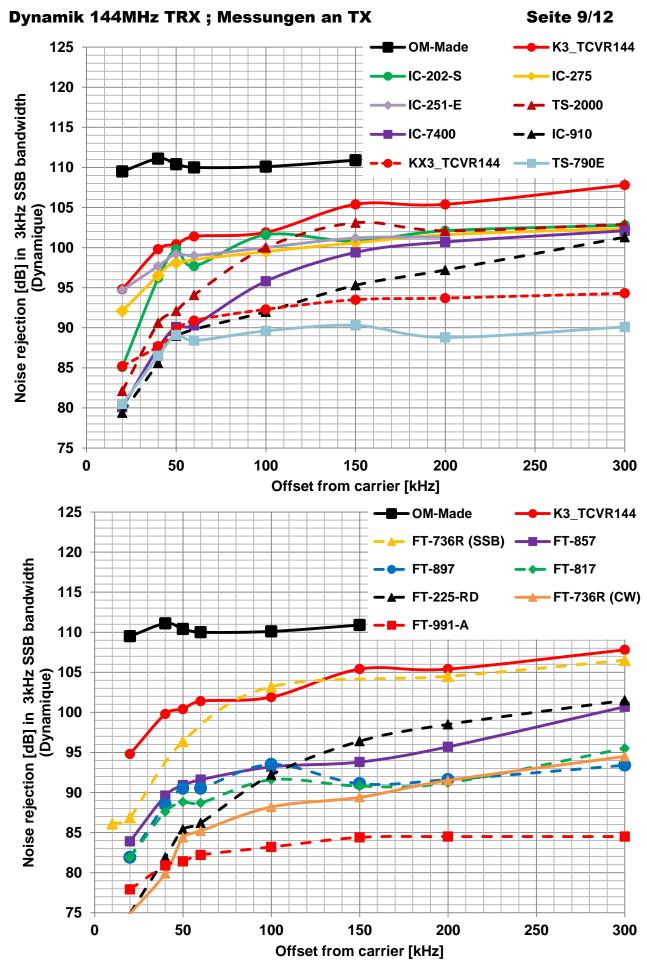
Tabelle 2: Gemessene Dynamik bei verschiedenen Frequenzabständen

Massgebend für die Rangliste der Tabelle 2 ist der Wert bei 50kHz Offset. Bei nur 20kHz Offset kann die Selektivität des Empfängers noch nicht maximal sein. Aber ab 50kHz Abstand und mehr darf man eine optimale Selektivität des Empfängers erwarten, der dann nicht am QRM einer starken benachbarten Station leiden sollte...

Die <u>Bilder 7a und 7b</u> zeigen die Rauschspektren in Funktion des Frequenzabstandes. Die Resultate sind sehr unterschiedlich, mit guten sowie schlechten Geräten.

Die Signaldynamik eines Senders ist das Verhältnis zwischen der Sendeleistung (P_{TX}) auf der Sendefrequenz und dem Rauschen (P_{NOISE}) in einer 3kHz Bandbreite gemessen in einem Abstand Δf von der Sendefrequenz:

$$Dyn_{TX}(\Delta f) = P_{TX}/P_{NOISE}(\Delta f)$$



<u>Bilder 7a und 7b: Signaldynamik von verschiedenen Sendern in Funktion des Frequenzabstandes</u>

Das Spektrum des FT-736 ist viel besser in SSB als in CW. Eine mögliche Ursache könnte sein, dass das in der Zwischenfrequenz generierte CW Signal nicht wie das SSB Signal durch ein Quarz- oder Keramik-Filter geführt wird.

Die Geräte, die die beste Sende-Dynamik aufweisen (das kleinste Rauschen ausserhalb der Sendefrequenz) sind:

- STN OM-made
- K3 + 144MHz Transverter
- IC-202
- IC-275
- IC-251E

Diese Geräte erreichen eine 95-100dB Dynamik bei einem Frequenzabstand von 50kHz. Sie übertreffen sogar 100dB bei einem Abstand von 100kHz. Doch keines dieser Geräte (auch nicht die Besten) erreicht die gewünschte Dynamik von 120dB.

Rauschen in SSB aber ohne Mikrophon-Modulation

Eine weitere Störquelle bei Sendern ist die Aussendung von breitbandigem Rauschen auf allen Frequenzen beim Drücken der PTT-Taste, ohne dass in das Mikrofon gesprochen wird. Die Tabelle 3 zeigt die gemessenen Pegel der Geräte.

Dieses Problem kann **sehr störend** sein. Der Empfang wird gestört, solange der Operator der Gegenstation die PTT Taste drückt. Es ist hoffnungslos, den VFO zu drehen um sich von der Frequenz dieses Störers zu entfernen, da der Rauschpegel einfach gleichbleibt, solange der Operator die PTT Taste gedrückt hält. Auch wenn er nicht spricht, können Sie keine DX Station mehr hören.

Die Geräte, die das geringste breitbandiges Rauschen in SSB ohne Modulation zeigen sind:

- IC-7000 (Gut hier, aber mit Modulation...Ups!)
- STN OM-made
- K3+TCVR144MHz
- FT-736R
- IC-251E
- IC-202S

<u>Gerät</u>	Rauschpegel [dB] im Verhältnis zur Spitzenleistung in SSB ohne Modulation		
Frequenz Offset →	∆f = 100kHz	∆f = 200kHz	
IC-7000	-123	-123	
OM-made	-110	-111	
K3-TCVR144	-110	-109	
FT-736-R original	-106	-108	
IC-251-E	-106	-106	
IC-202-S	-104	-105	
TS-700	-102	-106	
IC-7400	-102	-102	
FT-225-RD original	-100	-101	
IC-275	-96	-98	
TS-2000	-97	-97	
FT-857	-97	-96	
FT-817	-94	-94	
KX3-TCVR144	-94	-91	
FT-897	-91	-89	
IC-910	-85	-93	
TS-790E	-87	-87	
FT-991-A	-81 -81		

Tabelle 3: Rauschen in SSB ohne Modulation

Das Rauschen und die Leistungskontrolle des Senders

Oft wird die Leistung des Senders (TX-Gain) in der Zwischenfrequenz (ZF) der Senderkette durchgeführt (Vor dem Filter). Eine Konsequenz davon ist, dass eine Betätigung des "TX-Gain" die Leistung des Nutzsignals zwar einstellt, aber die Amplitude des breitbandigen Rauschens dabei nicht variiert, da dieses thermische Rauschen nach den ZF-Filtern erzeugt wird.

Dies wurde bei zwei Geräten gemessen (TS-2000, OM-made). Bei diesen Geräten hat das breitbandige Rauschen (Ohne Modulation) immer die gleiche Amplitude, gleich ob die Leistung auf 5W, 20W oder 100W eingestellt wird.

Deshalb ist es besser, die volle Leistung der Basis-Station zu verwenden und diese dann mit einem Leistungs-Dämpfungsglied auf die benötigte Ansteuerleistung für die PA zu reduzieren. Die OM auf den benachbarten Gipfeln werden euch dafür dankbar sein...

<u>Schlussfolgerungen</u>

Es ist nicht erstaunlich, dass bei jedem 144MHz Contest über gegenseitige Störungen zwischen Stationen auf hohen Standorten berichtet wird.

Die Hauptursache ist eine ungenügende Dynamik der verwendeten Stationen.

Die Transceiver verursachen Rauschen ausserhalb ihres Sendekanals mit einem Pegel, der von Gerät zu Gerät verschieden ist. Zwei Haupt-Störquellen wurden dabei identifiziert:

- 1. Die erste Quelle ist der VFO. Wie bei jedem Oszillator verursacht der VFO Rauschen um seine Sendefrequenz herum. Der Pegel dieses Rauschens nimmt mit dem Abstand von der zentralen Frequenz ab. Er folgt üblicherweise einer $1/(\Delta f)^2$ Funktion (Δf = Offset von der zentralen Frequenz). Ganz nahe der Sendefrequenz ist das VFO Rauschen dominant.
- 2. Die zweite Quelle ist das thermische Rauschen, das in der TX Schaltung (Verstärker-Kette) generiert wird. Es handelt sich dabei um "weisses" Rauschen. Das heisst, seine Amplitude bleibt konstant über den ganzen Frequenzbereich. Es wird nach dem letzten Filter (XTAL oder Keramik Filter) der ZF-Kette (Zwischenfrequenz des TX) generiert. Dann wird es einfach vom Treiber und der PA wie das Nutzsignal verstärkt. Dieses Rauschen ist präsent, solange die PTT Taste gedrückt bleibt. Oft ist der Pegel dieses Rauschen unabhängig von der Leistungskontrolle des TX.
- 3. Man könnte noch das QRM erwähnen, das durch eine schlechte Linearität der Verstärker verursacht wird. Doch das ist nicht die Haupt-Störquelle. Dieses Problem verursacht nur Störungen auf Frequenzen, die nahe bei der der Sendefrequenz liegen (bis zirka 20 30kHz). Emil HB9BAT hat eine entsprechende Vorführung am USKA Treffen 2017 in Payerne gemacht. Der Ergebnis war, dass eine starke, nicht lineare Endstufe (z.B. in Klasse C), die durch einen sauberen Sender (Z.B.: IC-202 in SSB) gespeist wurde, viel weniger QRM ab 20kHz Frequenzabstand erzeugte, als einer "saubere" Endstufe mit einem mittelmässigen TX.

Detaillierte Messresultate der einzelnen Geräte sind auf folgender Webseite zu finden: www.hb9ww.org/technique/divers/ « 2017 Mesure de performance de divers TRX 144MHz »

Die Dynamik ist offenbar nicht eine Priorität für die Hersteller von Amateurfunkgeräten. Im Kurzwellenbereich ist ein Wert von 80dB genügend. Im VHF-Contest ist die Lage ganz anders, da die Stationen auf freien Standorten mit hohen Leistungen und hohen Antennengewinnen operieren.

<u>Dank:</u> herzlichem Dank an Anton Bärtschi HB9ASB für die Hilfe und die Korrekturen des deutschen Texts

Best 73, François, HB9BLF