

## HF-Doppeltongenerator für IM<sub>3</sub>-Messungen an SSB-Endstufen und SSB-Empfängern

Ein HF-Doppeltongenerator benötigt man für Linearitätsmessungen an SSB-Endstufen und/oder Messung der Großsignaleigenschaften von SSB-Empfängern. Hierzu verwendet man entweder zwei HF-Messsender oder zwei quarzgesteuerte Signalgeneratoren. Bild 1 zeigt den Aufbau eines passenden Doppeltongenerators. Die Generatorfrequenzen erzeugen Quarze, welche auf ihrer Serienresonanz schwingen und im Bereich 1-30 MHz beliebig wählbar sind, im Beispiel  $f_1=7.055$  MHz und  $f_2=7.060$  MHz. Die PegelEinstellung erfolgt über C1, so dass am Ausgang  $-6$  dBm für  $f_1$  und  $f_2$  zur Verfügung stehen. Beide Signale werden in eine Wheatstone-Brücke (1) eingespeist, die aufgrund ihres symmetrischen Aufbaus eine Entkopplung der Generatorausgänge von  $> 40$  dB bewirkt und die Nutzsignale mit  $6$  dB Durchgangsdämpfung passieren läßt. Der Klirrfaktor der Generatoren beträgt in der aufgezeigten Schaltung schon ohne TP-Filter  $40$  dBc ( $< 1\%$ ). Bei Zusammenführung der beiden HF-Signale ist unbedingt darauf zu achten, dass sich die beiden Signalquellen nicht gegenseitig modulieren und die Generatoren selbst IM-Produkte erzeugen. Dies läßt sich nur durch entsprechend hohe Dämpfung der Signalausgänge zueinander verhindern.

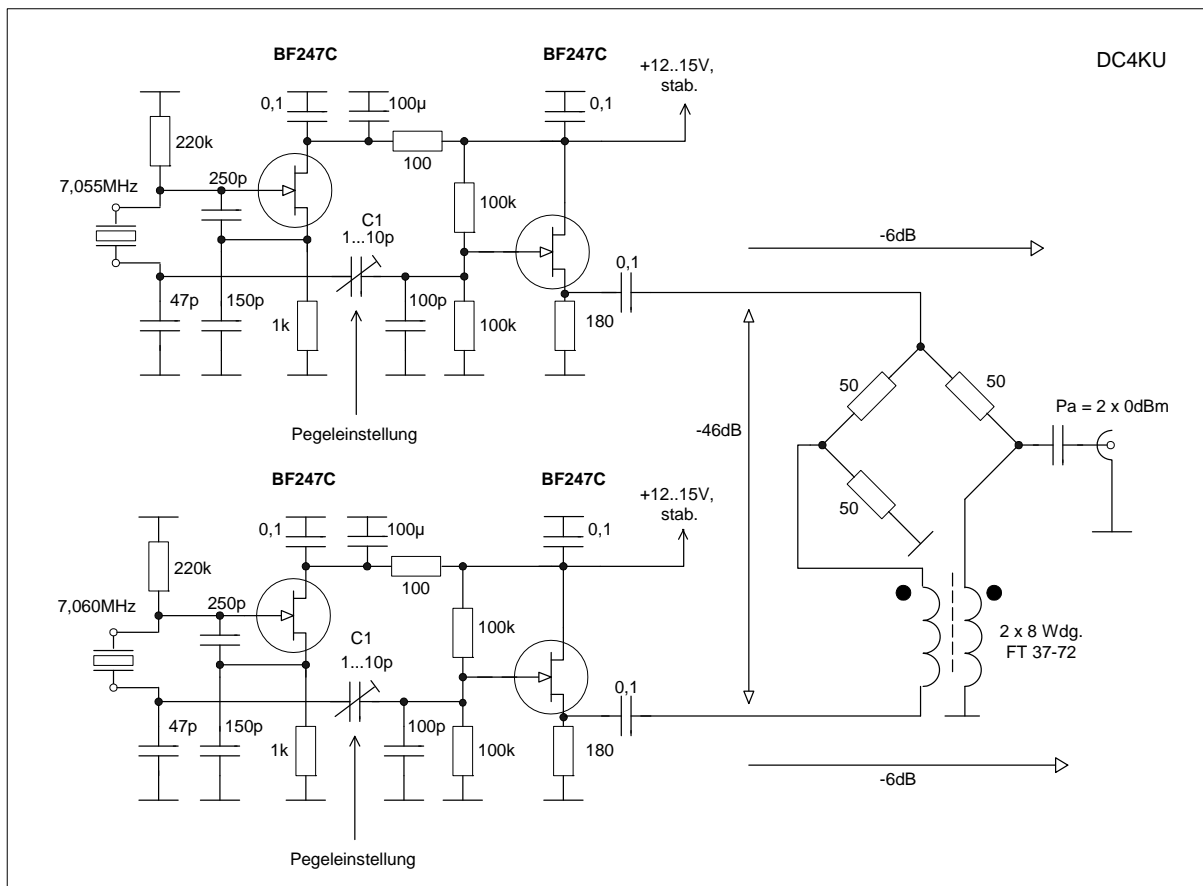
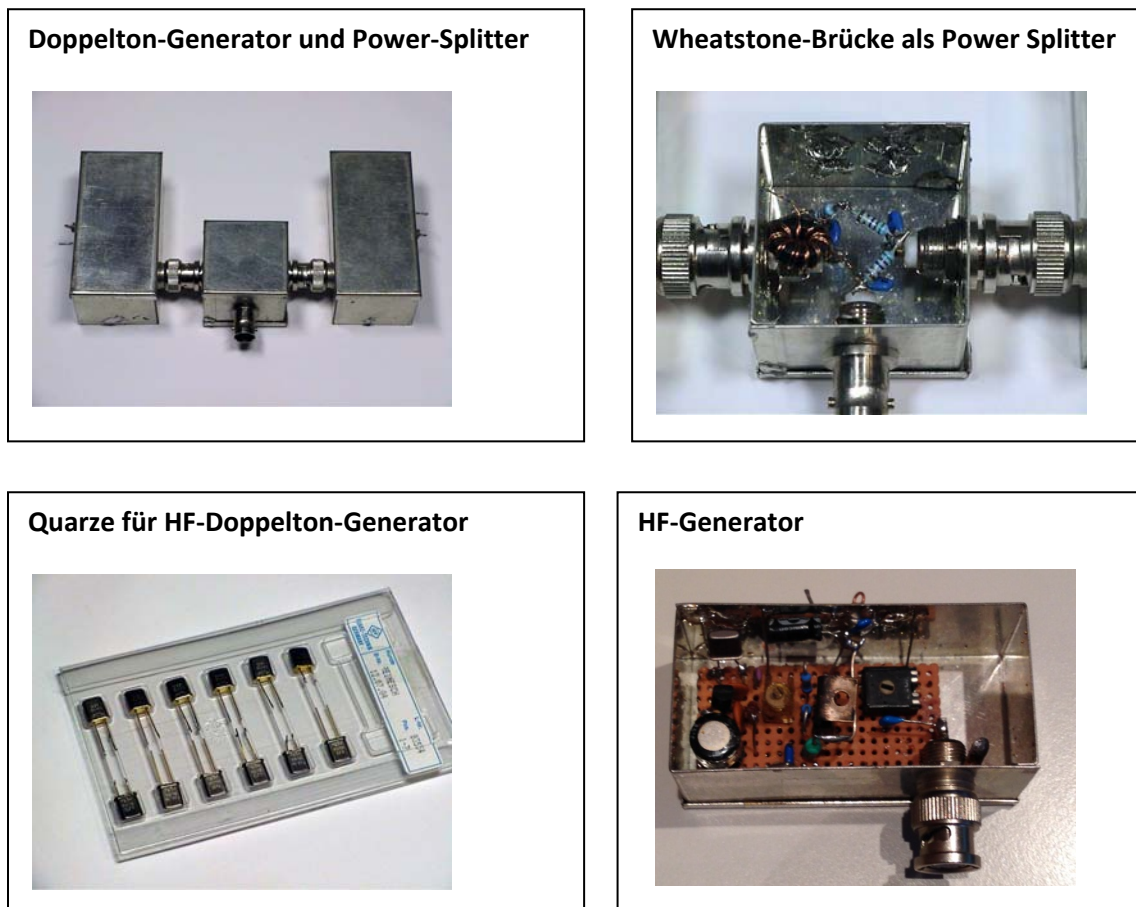


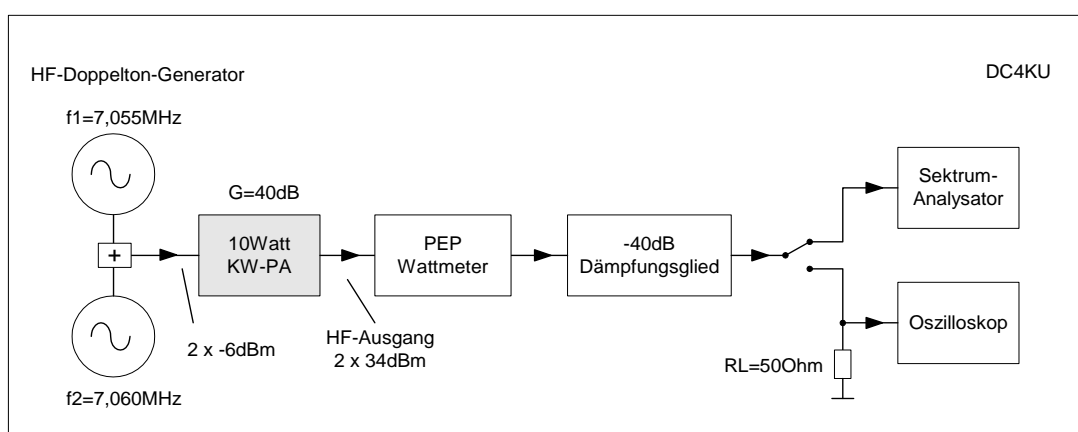
Bild 1: Schaltung eines HF-Doppeltongenerators für 1-30 MHz



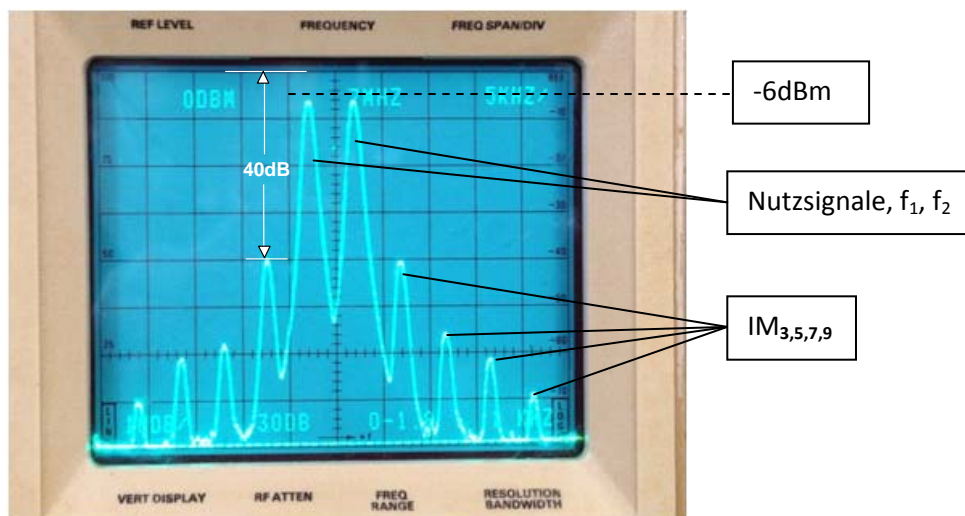
**Bild 8: Doppeltongenerator, Wheatstone-Brücke und Quarze für Messungen im 10, 20, 40 und 80m-Band**

### 1. Doppeltongenerator für Messungen an SSB-Endstufen (PA)

Der HF-Doppeltongenerator aus Bild 1 läßt sich für IM-Messungen an SSB-Endstufen verwenden. Bild 2 zeigt den typischen Messaufbau und Bild 3 die Meßergebnisse am Spektrumanalysator. Im Beispiel wird eine KW-PA mit 10Watt PEP Ausgangsleistung auf Linearität geprüft. Die erforderliche Eingangsleistung der PA beträgt 1mW (0dBm) für 10 Watt (+40dBm) Ausgangsleistung.



**Bild 2: Messaufbau der Intermodulationsmessung an einer KW-Endstufe**



**Bild 3: Doppelton-Spektrum einer 10Watt-Endstufe,  $f_1=7,055$  und  $f_2= 7,060$ MHz**

Folgende Ergebnisse können vom Schirmbild des Analysators direkt abgelesen werden.

Nutzsignale:  $f_1, f_2$  bei -6dBm -> 10Watt PEP

$IM_3$ :  $2f_1-f_2, 2f_2-f_1$  bei -40dBm -> Abstand zu Nutzsignalen: 34dBc, Abstand zu PEP 10 Watt: 40dBc

$IM_5$ :  $3f_1-2f_2, 3f_2-2f_1$  bei -56dBm

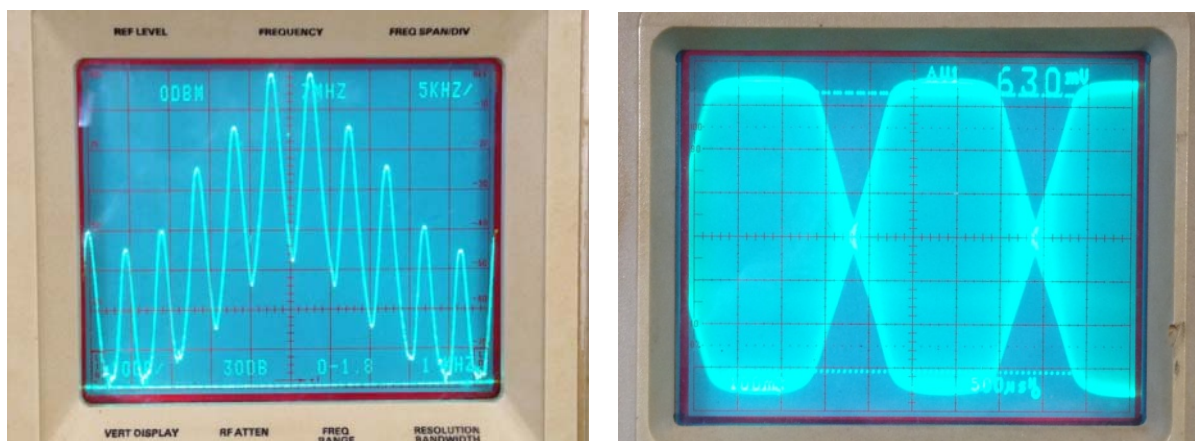
$IM_7$ :  $4f_1-3f_2, 4f_2-3f_1$  bei -60dBm

$IM_9$ :  $5f_1-4f_2, 5f_2-4f_1$  bei -70dBm

IM-Produkte gerader Ordnung ( $f_1+f_2, f_1-f_2, 3f_1-f_2, 2f_1, 2f_2..$ ) tauchen nicht auf, da sie weit außerhalb des Frequenzbandes liegen und vom Tiefpassfilter der Endstufe unterdrückt werden.

### 1.1 Übersteuerung der PA

Bei Pegelvergrößerung von  $f_1$  und  $f_2$  gerät die Endstufe in Kompression und die IM-Produkte steigen schnell an. Würde das gleiche Signal mit einem Mikrofon erzeugt, würde es sich rau und gepresst anhören. Das demodulierte NF-Signal ist verzerrt.

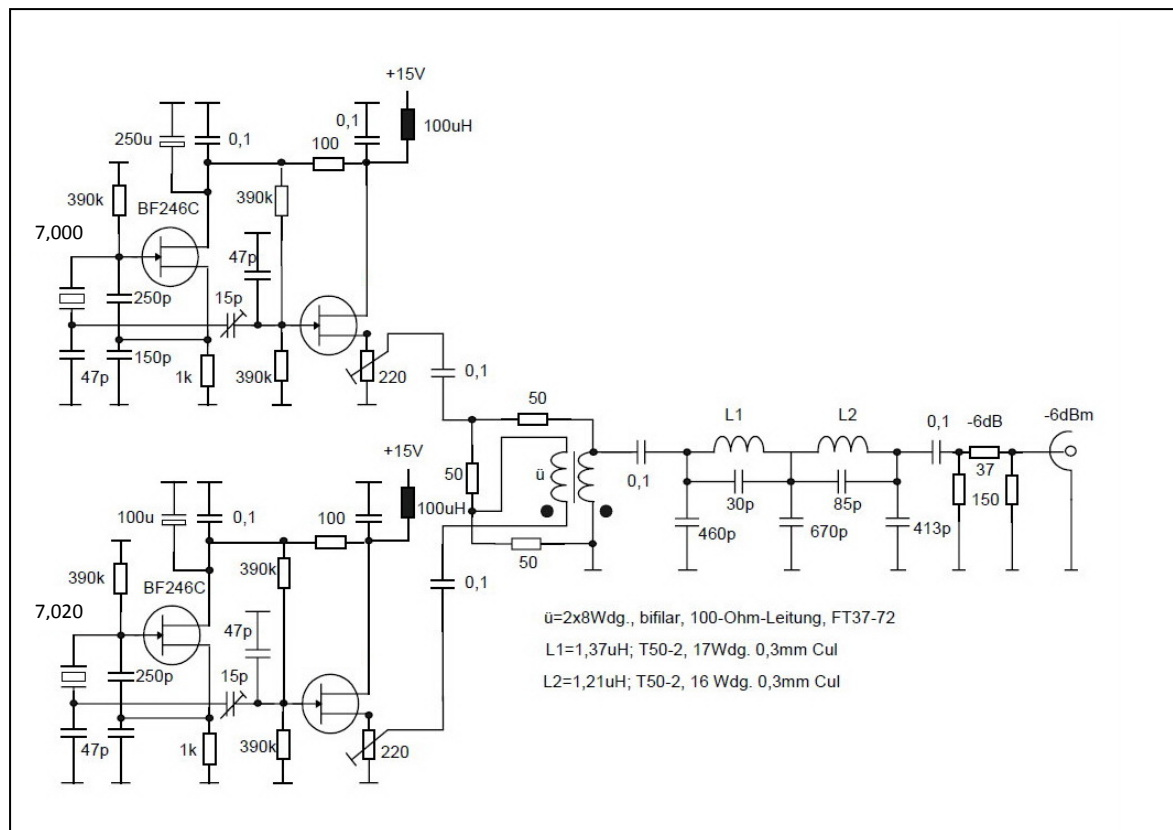


**Bild 4: Leistungsendstufe in Kompression,  $IM_3$ -Abstand nur noch 14dB, SA (links) und Scope (rechts)**

## 2. Doppeltongenerator für Messungen an SSB-Empfängern, Großsignalverhalten

Ein geeigneter Doppeltongenerator für Messung des Großsignalverhaltens von SSB-Empfängern, zeigt Bild 5. Der Doppelton-Generator muß wichtige Forderungen erfüllen:

- Entkopplung der Generatorausgänge um mindestens 40 dB
- Hohe Oberwellenunterdrückung der Generatorfrequenzen um >70 dBc
- geringes Seitenbandrauschen



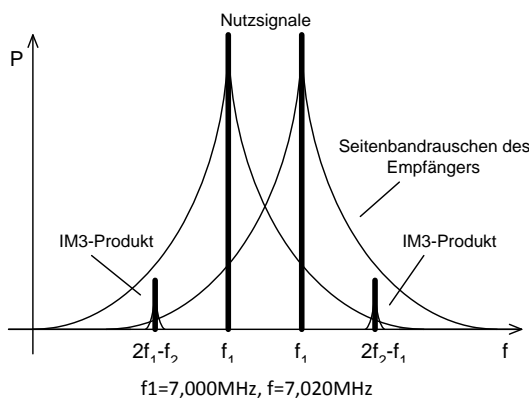
**Bild 5: Schaltung eines HF-Doppeltongenerators für Intermodulationsmessung an SSB-Empfängern**

Zur Signalentkopplung der Generatoren dürfen keine handelsübliche „3-dB-Koppler“ oder BNC-T-Stücke verwendet werden. Die Generatoren dürfen sich gegenseitig praktisch nicht „sehen“, da sie ansonsten selbst Intermodulation produzieren und das Messergebnis verfälschen würden. Dies lässt sich nur durch entsprechend hohe Dämpfung der Signalausgänge zueinander verhindern. Gleichzeitig muss die Signalverknüpfung jedoch in der Lage sein, die Generatorsignale mit möglichst geringer Durchgangsdämpfung auf einen gemeinsamen Ausgang zu leiten. Diese Forderungen erfüllt die im Schaltplan dargestellte Wheatstone-Brücke. Die Entkopplung der Signalen zueinander erreicht 46dB bei einer Durchgangsdämpfung von nur 6dB.

Der Klirrfaktor der Generatoren alleine beträgt > 40 dBc (<1%). Dieser Oberwellenabstand ist jedoch für genaue IM-Messungen noch nicht ausreichend, so das am Ausgang der Messbrücke ein TP-Filter mit  $f_g=7,2 \text{ MHz}$  nachgeschaltet werden muß. Es ist wichtig, dass die Oberwellen der Generatoren am Ausgang des Doppelton-Generators stark unterdrückt sind. Hier ist der Grund: Nehmen wir an, die Generatoren würden Oberwellen produzieren. Wenn die beiden Generatorsignale am

Mischereingang anliegen, generiert der Mischer am Ausgang ebenfalls Oberwellen. Wenn die erste Oberwelle der HF-Generatoren mit 180-Grad-Phasendrehung zur ersten Oberwelle am Mischerausgang steht, löschen sich die Produkte aus und resultieren in viel zu „guten“  $IM_3$ -Ergebnissen. Auf der anderen Seite, wenn die Harmonischen in Phase liegen, verschlechtern sich die Meßergebnisse um 3 dB.

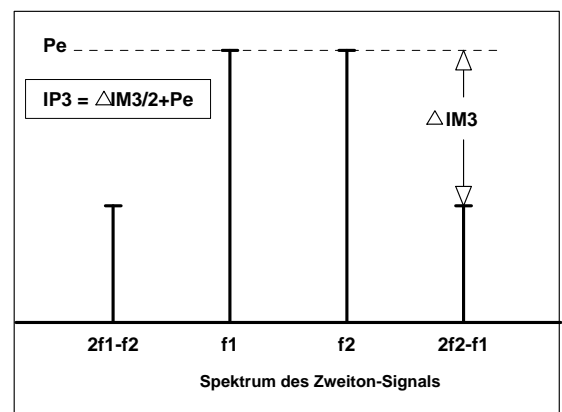
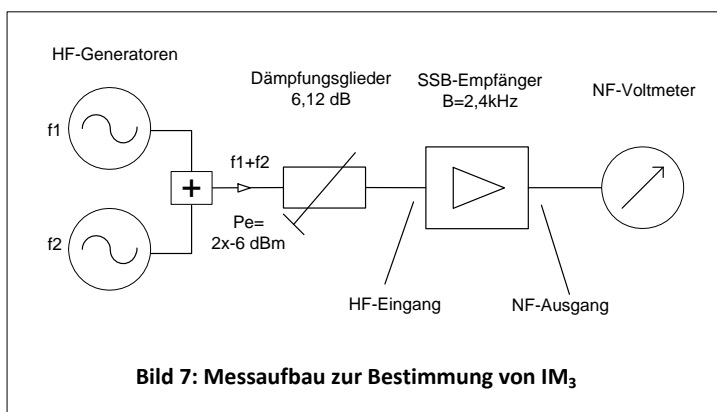
In Trägernähe werden die zu messenden IM-Produkte durch zunehmendes Phasen- und Seitenbandrauschen, verursacht durch reziprokes Mischen, zugedeckt. Der Empfänger verliert dadurch an Empfindlichkeit, er wird desensibilisiert, wie in **Bild 9** illustriert. Das Seitenbandrauschen (SBN) des Doppeltongenerators selbst, muss deswegen sehr gering sein.



**Bild 6: Abdeckung kleiner Signale in geringen Trägerabständen durch das Seitenbandrauschen des Empfängers und /oder Generators**

### 2.1 $IP_3$ -Messung an einem SSB-Empfänger im 40m-Band

Zur eigentlichen Messung des  $IP_3$  benötigt man einen Spektrumanalysator oder verwendet den Empfänger selbst als Messgerät. Dazu braucht man aber ein in dB geeichtes S-Meter, das über einen Bereich von zumindest 80 dB pegelgenau anzeigen muß.



Die Messung des  $IP_3$  beginnt bei  $Pe = 2 \times -6$  dBm für  $f_1$  und  $f_2$  nach Messaufbau in Bild 7. Das geeichte S-Meter zeigt  $-6$  dBm bei  $f_1$  und  $f_2$  an. Bei den unerwünschten  $IM_3$ -Produkten  $2 \times f_1 - f_2$  und  $2 \times f_2 - f_1$ , also jeweils 20 kHz oberhalb und unterhalb von  $f_1$  und  $f_2$ , werden die Pegel  $P_{IM_3}$  abgelesen und notiert. Die gleiche Messung wird mit den Generatorpegeln  $Pe = -12$  dBm und  $Pe = -18$  dBm durchgeführt.

Die Ergebnisse an meinem SSB-Empfänger waren:

Eingangssignal ( $P_e$ )	Messwert ( $P_{IM3}$ )	Ergebnis ( $IP_3$ )
• $P_e = 2x -6 \text{ dBm}$ :	$P_{IM3} = -70 \text{ dBc}$	> $IP_3 = 26 \text{ dBm}$
• $P_e = 2x -12 \text{ dBm}$ :	$P_{IM3} = -87 \text{ dBc}$	> $IP_3 = 25,5 \text{ dBm}$
• $P_e = 2x -18 \text{ dBm}$ :	$P_{IM3} = -106 \text{ dBc}$	> $IP_3 = 26 \text{ dBm}$

**Berechnung des  $IP_3$ :**  $IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e$  mit  $\Delta IM_3 = P_e - P_{IM3}$

$P_e = 2x -6 \text{ dBm}$

$P_{IM3} = -70 \text{ dBm}$  (S-Meter Anzeige)

$\Delta IM_3 = -6 \text{ dBm} - (-70 \text{ dBm}) = 64 \text{ dB}$

**$IP_3 = 64 \text{ dB} / 2 - 6 \text{ dBm} = 26 \text{ dBm}$**

Der  $IP_3$  sollte mindestens bei drei unterschiedlichen Pegeln gemessen werden, wobei die Ergebnisse um nicht mehr als 1 bis 2 dB voneinander abweichen sollten.

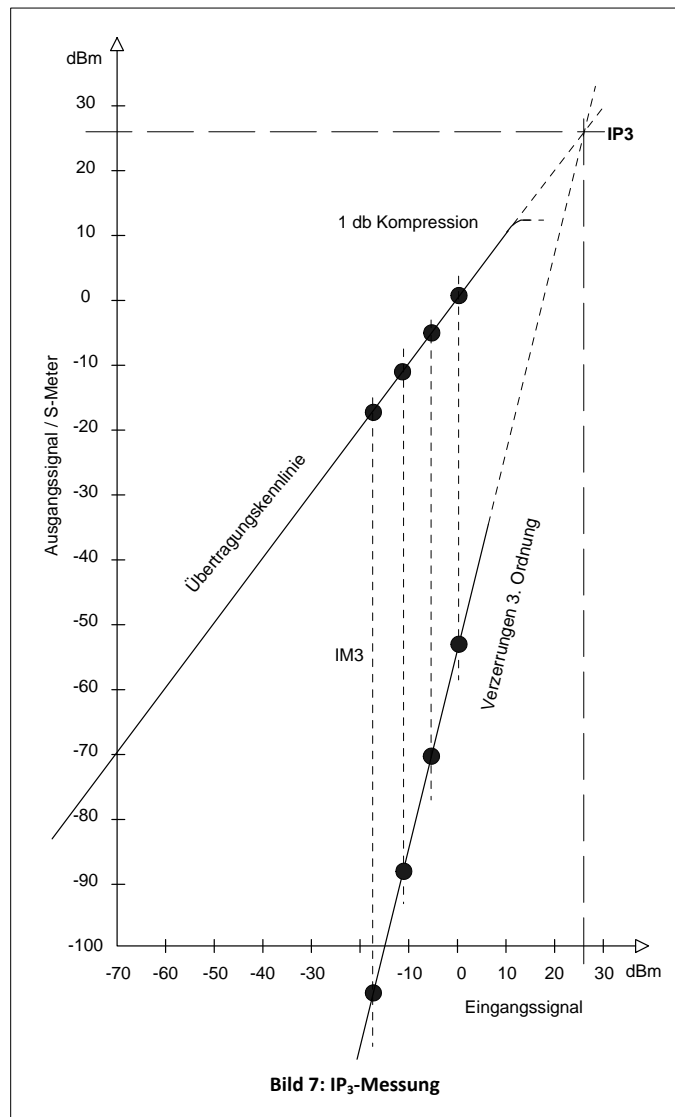


Bild 8 zeigt die Meßergebnisse in grafische Darstellung. Hierbei wurden die Übertragungs- und die  $IP_3$ -Kennlinie soweit zu größeren Pegeln hin verlängert, bis sie sich schneiden. Dieser theoretische

Schnittpunkt wird als 3. Order Intercept Point ( $IP_3$ ) bezeichnet (2). Deutlich zu erkennen ist, dass die Störprodukte dreimal schneller ansteigen als die Nutzprodukten. Darin liegt ein Hauptproblem von Intermodulationsstörungen in der Nachrichtentechnik. Durch Bandpässe und Filter im Eingang des Empfängers lassen sich  $IM_3$ -Störungen nicht unterdrücken, da sie zu dicht an den Nutzsignalen auftreten.

Hinweis: Führt man die  $IP_3$ -Messung mit Hilfe eines Spektrumanalysators durch, wird dieser am 50-Ohm-Ausgang des Quarzfilters angeschlossen. Die Nutzsignale ( $P_e$ ) bringt man auf Referenzpegel (oberste Horizontallinie des Displays) und liest die  $IM_3$ -Störprodukte nach entsprechender Abstimmung des VFO's direkt als Pegeldifferenz  $\Delta IM_3$  ab (6). Auch hier gilt die Gleichung

$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e$$

**Anmerkung zu  $IP_3$ -Messung:**

Die beschriebene Methode ist der  $IP_3$ -Messung ist nur begrenzt korrekt. Eine genauere Methode ist die "In-Band-Intermodulationsmessung" (3). Hierbei wird der Frequenzabstand beider Signale ( $f_1, f_2$ ) absichtlich auf bis zu 2..3kHz reduziert, so dass die beide Signale noch in den Durchlassbereich des 1. ZF-Filters (Roofing-Filter mit 6..12kHz Bandbreite) liegen. Im Regelfall nehmen die Intermodulationsstörungen dann stark zu, weil die Eingangssignale jetzt ungehindert auch die nachfolgenden ZF-Verstärker und Mischstufen durchlaufen. Die so gemessenen  $IM_3$ - und  $IP_3$ -Werte, geben sehr viel genauer die Großsignalfestigkeit des Empfängers wieder, bei direkter Belastung im Nachbarkanal.

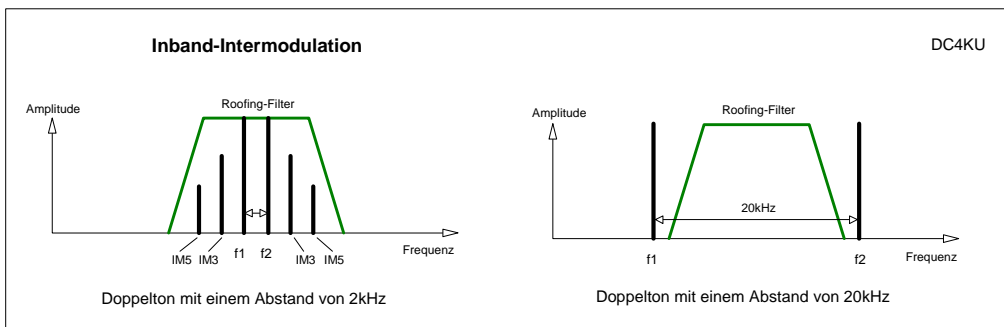


Bild 9: In-Band-Intermodulationsmessung

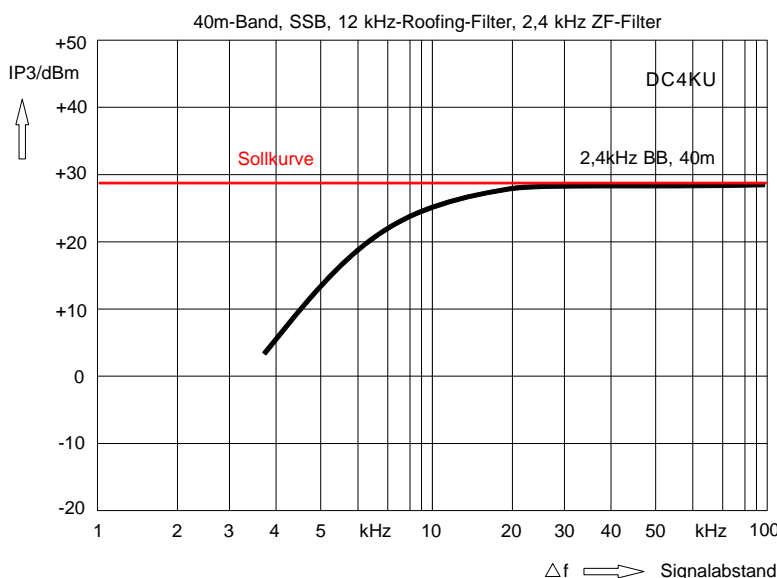


Bild 10:  $IP_3$  in Abhängigkeit vom Signalabstand

**Literatur****(1) In-Band IM3-Messungen am Beispiel des IC7800**

CQ-DL 8/2005, Seite 544-548

[http://www.dc4ku.darc.de/Inband\\_Intermodulation.pdf](http://www.dc4ku.darc.de/Inband_Intermodulation.pdf)<http://www.ab4oj.com/test/imdtest/main.html>**(2) Intermodulationsmessungen an HF-Sendern und HF-Endstufen**[http://www.dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung\\_an\\_HF-Sendern.pdf](http://www.dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung_an_HF-Sendern.pdf)**(3) NF-Doppelton-Generator für IM<sub>3</sub>-Messungen an SSB-Sendern**<http://www.dc4ku.darc.de/NF-Doppelton-Generator.pdf>**(4) Messung kritischer Spezifikationen eines Empfängers**[http://www.dc4ku.darc.de/Messung\\_kritischer\\_Spezifikationen.pdf](http://www.dc4ku.darc.de/Messung_kritischer_Spezifikationen.pdf)**(5) Nichtlineare Verzerrungen - richtig gemessen**[http://www.dc4ku.darc.de/Nichtlineare\\_Verzerrungen.pdf](http://www.dc4ku.darc.de/Nichtlineare_Verzerrungen.pdf)

Werner Schnorrenberg

DC4KU, dc4ku@darc.de

Dez. 2014