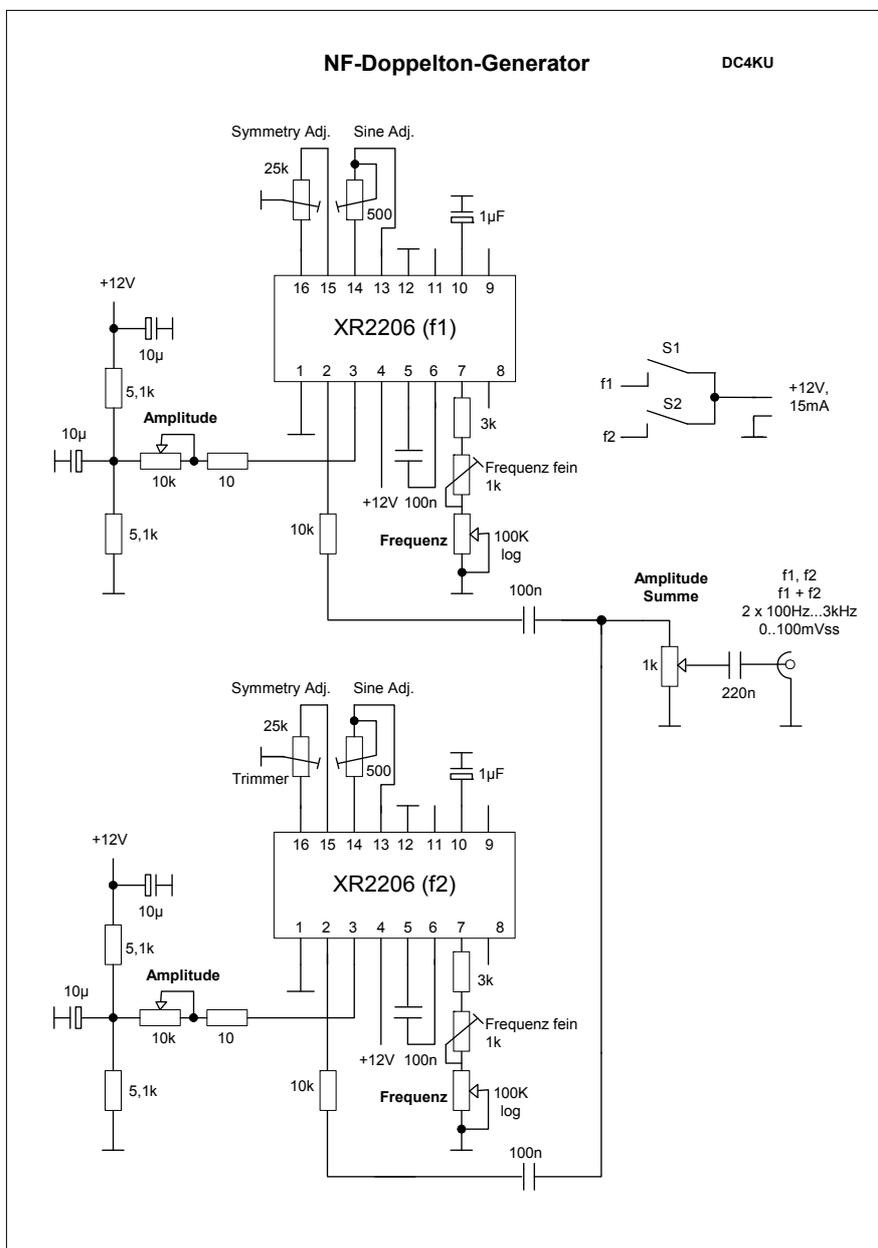




## NF-Doppeltongenerator für IM<sub>3</sub>-Messungen an SSB-Sendern

Einen NF-Doppeltongenerator benötigt man für Intermodulationsmessungen an SSB-Transmittern. Anstelle des Mikrofonsignals wird das NF-Doppeltongsignal in den Mikrofoneingang des SSB-Senders eingespeist. Beide NF-Signale besitzen den gleichen Pegel. Zur Intermodulationsmessung werden die Pegel beider NF-Signale ( $f_1$ ,  $f_2$ ) so weit vergrößert, bis am Ausgang des SSB-Senders die maximal zulässige Leistung PEP entsteht.

Mit Hilfe eines Spektrumanalysators lassen sich anschließend die entstehenden Intermodulationsprodukte IM<sub>3</sub>, IM<sub>5</sub>, IM<sub>7</sub> ... des Senders messen und der Intermodulationsabstand (in dB) zu den Nutzsignalen bestimmen. Grundsätzlich gilt: Je größer der Intermodulationsabstand der Nutzprodukte ( $f_1$ ,  $f_2$ ) zu den Störprodukten (IM<sub>3</sub>, IM<sub>5</sub>, ...) ist, umso besser ist die Qualität des Senders.

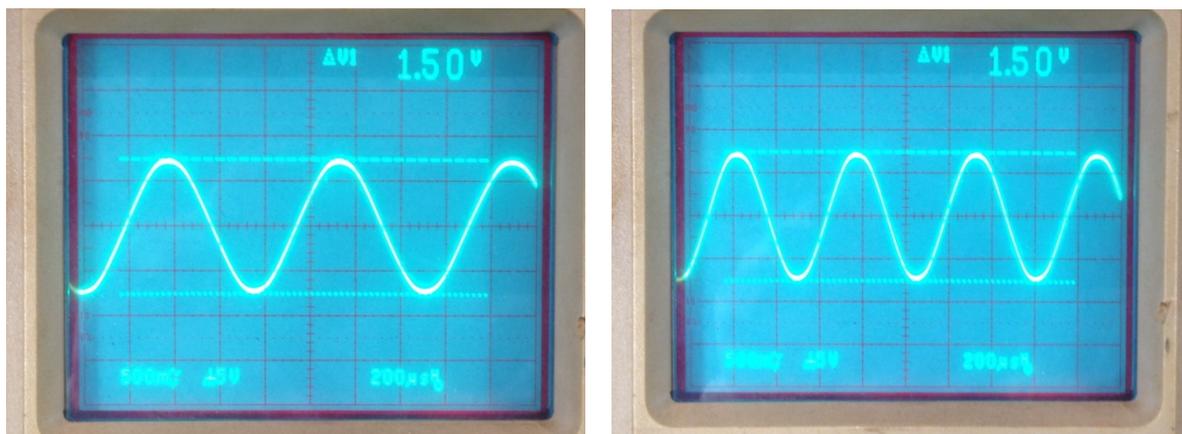


**Bild 1: Schaltplan NF-Doppeltongenerator mit guter Oberwellenunterdrückung**

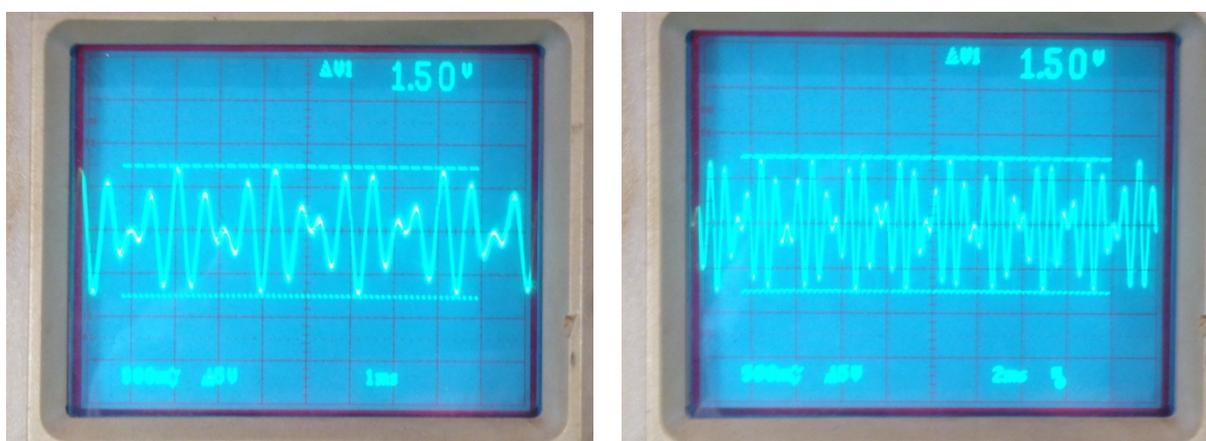
Bei Intermodulationsabständen ( $IM_{3,5,7..}$ ) von  $\geq 30\text{dBc}$  ist die Qualität des Senders als ausreichend zu bezeichnen. Bei Abständen von  $< 20\text{dBc}$  sind schon eine leichte Verzerrung des demodulierten Sendesignals im Empfänger hörbar und bei einem Abstand von  $\leq 20\text{dBc}$  hört sich das Signal bereits gepresst und hart an. Außerdem wird es breit und stört in die Nachbarkanäle.

Die Schaltung eines NF-Doppeltongenerators, aufgebaut mit zwei Funktionsgenerator IC's XR-2206, zeigt **Bild 1**. Auch wenn der XR-2206 schon ein etwas älterer Baustein ist, ist er doch immer noch preiswert und gut erhältlich und eignet sich besonders zum einfachen Aufbau eines brauchbaren Funktionsgenerators, hier Sinusgenerators. Die Frequenzen und Pegel beider Sinusgeneratoren sind zwischen 100Hz und 3kHz einstellbar und der Klirrfaktor (THD) beträgt im abgeglichenen Zustand nur  $< 1\%$  (45dBc). Der Abgleich auf geringsten Klirrfaktor erfolgt über die Trimmer 'Symmetry Adjust' und 'Sine Adjust'.

Der Klirrfaktor beider NF-Signale sollte sehr gering sein. Wenn die Tonfrequenz z.B. 800Hz beträgt, dann tauchen deren Oberwellen bei 1600Hz und 2400Hz im Display des Analysators ebenfalls auf und können bei der Analyse der Intermodulationsprodukte erheblich stören. Dies sollte beim Aufbau des verwendeten Doppelton-Generators (egal, welche Schaltung verwendet wird) beachtet werden. **Bild 2** zeigt die einzelnen NF-Sinussignale des Doppeltongenerators und **Bild 3** das Summensignal am Mikrofoneingang des Senders, mit den Tönen  $f_1$  und  $f_2$ , im Beispiel mit  $f_1=1350\text{Hz}$  und  $f_2=1900\text{Hz}$ .



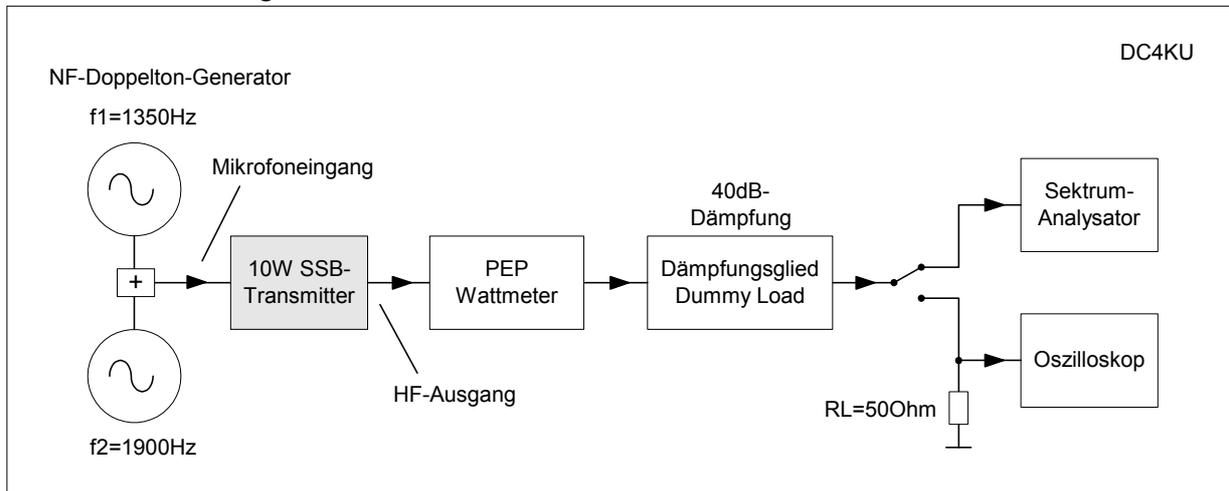
**Bild 2:** Einzelsignale des Doppeltongenerator  $f_1$  (links) und  $f_2$  (rechts)



**Bild 3:** Doppeltonsignal  $f_1 + f_2$ , Schwebungssignal am Mikrofoneingang im NF-Bereich

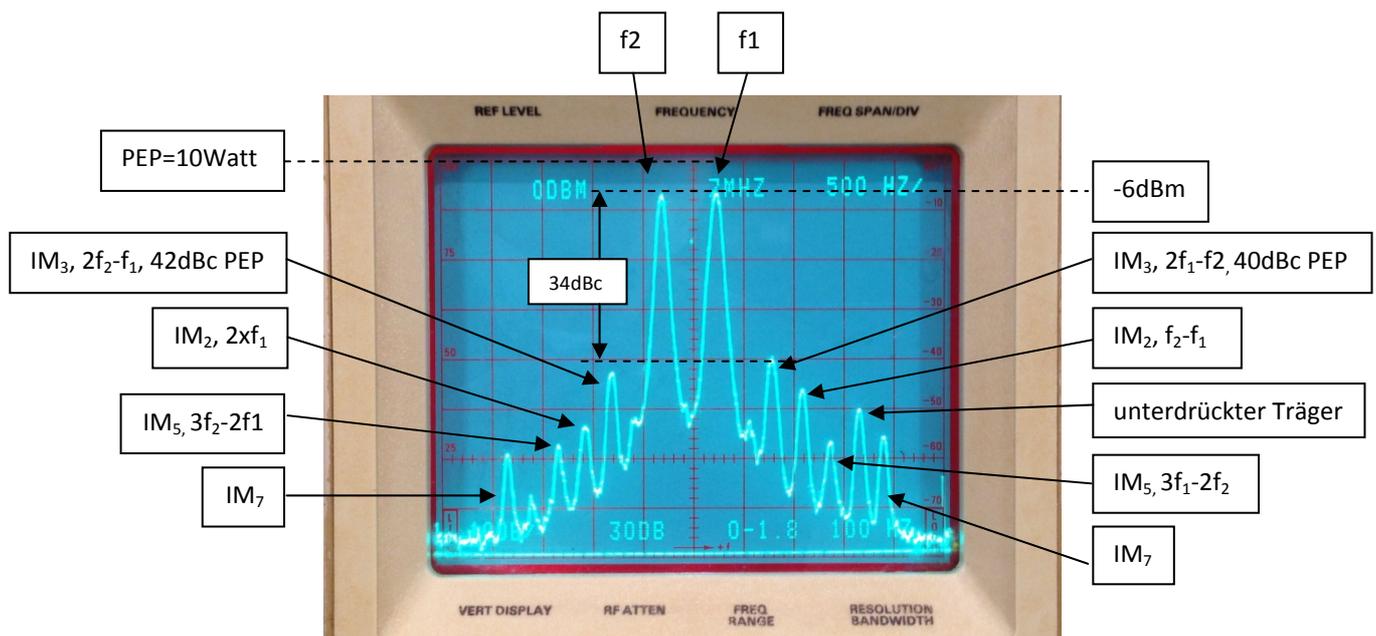
### 1.) Messung der Intermodulation eines SSB-Senders

Den Messaufbau einer Intermodulationsmessung an einem Transmitter mit z.B. 10Watt PEP Ausgangsleistung zeigt **Bild 4**. Dem HF-Ausgang des Senders folgt ein 40dB-Dämpfungsglied, damit der Analysator vor zu hohen Spannungen geschützt ist. Als Leistungsmessgerät kann zusätzlich ein SWR-Wattmeter zwischen geschaltet werden.

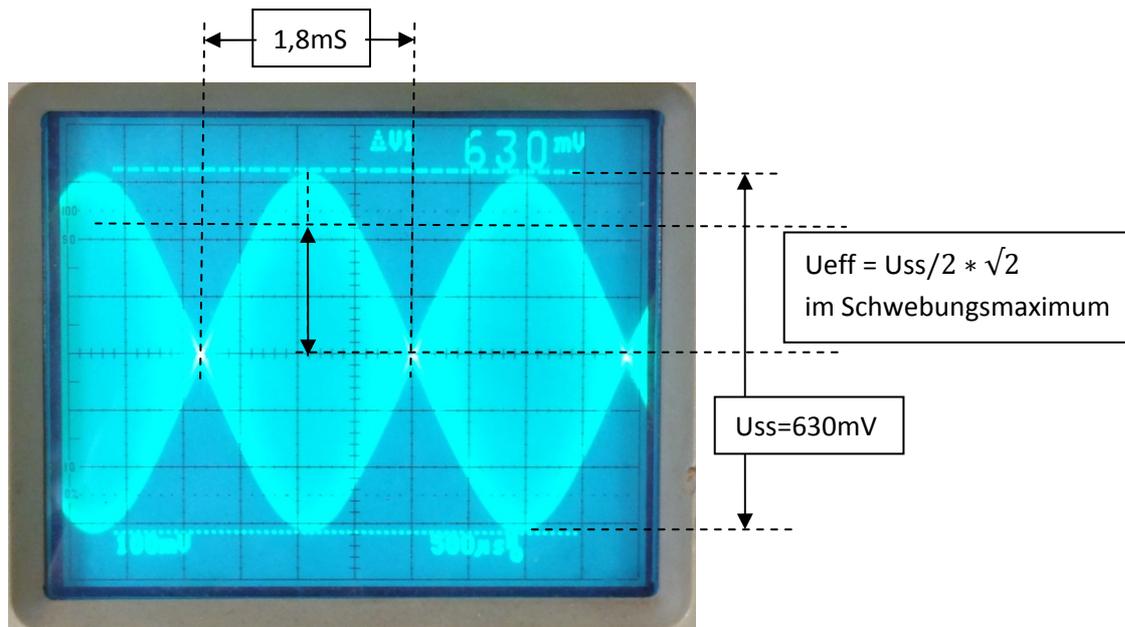


**Bild 4: Intermodulationsmessung eines SSB-Senders/Transceiver mit NF-Doppelton-Generator**

Das Schirmbild des Analysators (**Bild 5**) zeigt als Ergebnis die beiden modulierten Nutzsignale ( $f_1$ ,  $f_2$ ) und noch eine ganze Reihe weiterer, unerwünschter "Störprodukte", nämlich IM-Produkte ungerader Ordnung ( $IM_3$ ,  $IM_5$ ,  $IM_7, \dots$ ) und grader Ordnung ( $IM_2$ , Oberwellen) sowie den Restträger (USB). Der Abstand der Nutzsignale zu den stärksten IM-Produkten (hier  $IM_3$ ) beträgt 34dBc bzw. 40dBc bezogen auf PEP. Vereinfacht ausgedrückt, der Verzerrungsgrad (Klirrfaktor) des Sendesignals beträgt bei 10Watt Ausgangsleistung (PEP) ca. 1% und die Qualität des Signals ist als gut zu bezeichnen.



**Bild 5: HF-Ausgangsspektrum des SSB-Senders bei 2-Ton-Modulation im 40m-Band,  $f_1=1350\text{Hz}$ ,  $f_2=1900\text{Hz}$**



**Bild 6:** HF-Hüllkurvensignal des SSB-Senders bei Modulation mit einem 2-Ton-Signal, 500 $\mu$ S/Teil, 100mV/Teil

### Berechnung der HF-Ausgangsleistung

Die eingestellte Ausgangsleistung von  $f_1$  und  $f_2$  beträgt  $2 \times 2,5$ Watt, ergibt zusammen 5Watt. Dies entspricht der mittleren HF-Ausgangsleistung von 5Watt, aber nicht der PEP-Leistung!

Die tatsächliche PEP-Leistung zeigt das Schirmbild des Oszilloskops in **Bild 6**. Zwischen den um 550Hz verschobenen Hochfrequenzsignalen kommt es zu einer Schwebung, bei der sich die beiden gleich großen Signale im Abstand von ca. 1,8ms addieren bzw. auslöschen. Im Maximum der Schwebung entsteht die doppelte Spannung und somit die vierfache Leistung ( $P = U^2/R$ ). Da die Leistung im Schwebungsmaximum 4 fach so hoch ist wie bei einem Einzelton, ist die Spitzenleistung nicht  $2 \times 2,5$  Watt = 5Watt (Mittelwert), sondern 10Watt (PEP).

Berechnung der Leistung im Schwebungsmaximum (PEP):

$$U_{ss}(\text{Sender}) = U_{ss}(\text{Scope}) * 100 \text{ (40dB Dämpfung)} = 630\text{mV} * 100 = 63 \text{ Volt}$$

$$U_{eff} = \frac{U_{ss}}{2 * \sqrt{2}} = \frac{63}{2 * 1,414} = 22,3 \text{ Volt}$$

$$P(\text{PEP}) = \frac{U_{eff}^2}{RL} = \frac{497,3}{50} = 9,95 \text{ Watt}$$

Das Wattmeter zeigt ebenfalls 10 Watt PEP-Leistung an.



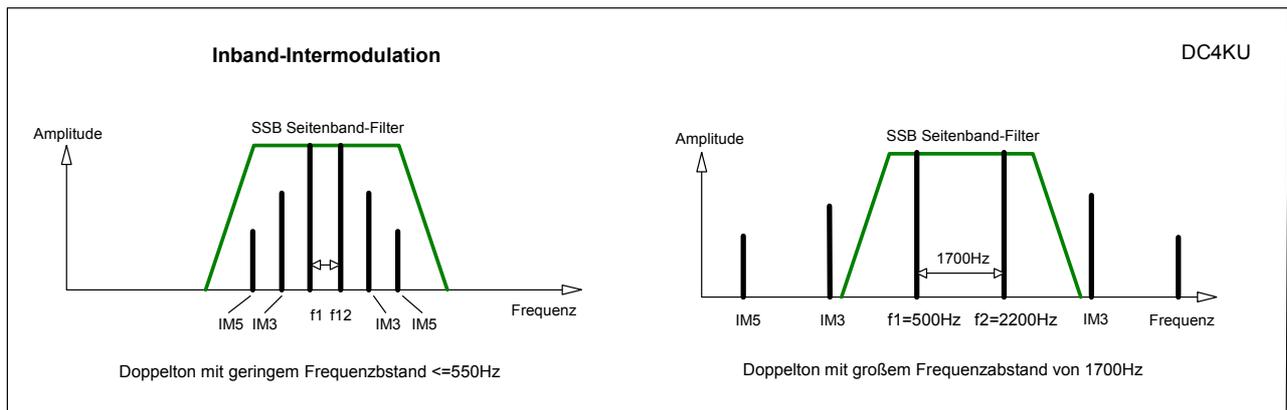
**Bild 7:** SWR-Power-Meter, Anzeigewert (PEP)=10Watt

## 2.) Wie groß sollte der Frequenzabstand der Doppeltöne sein?

Zunächst könnte man meinen, egal mit welchen Tonfrequenzen gearbeitet wird, Hauptsache sie passen beide in die Übertragungsbandbreite (300...2700Hz) des SSB-Filters. Für IM-Messungen werden häufig weit auseinander liegende Tonfrequenzen benutzt, wie z.B.  $f_1=500\text{Hz}$  und  $f_2=2200\text{Hz}$  oder  $f_1=700\text{Hz}$  und  $f_2=1900\text{Hz}$ , was jedoch sehr ungünstig ist.

Die Problematik eines zu groß gewählten Doppeltonabstands zeigt **Bild 8**. Die Töne von 500Hz und 2200Hz passen zwar beide in den Durchlaßbereich des SSB-Seitenbandfilters, die vor dem Filter entstehenden Intermodulationsprodukte werden jedoch durch die SSB-Filterflanken abgeschnitten, sie werden nicht weiter geleitet und kommen demnach auch nicht zu Anzeige.

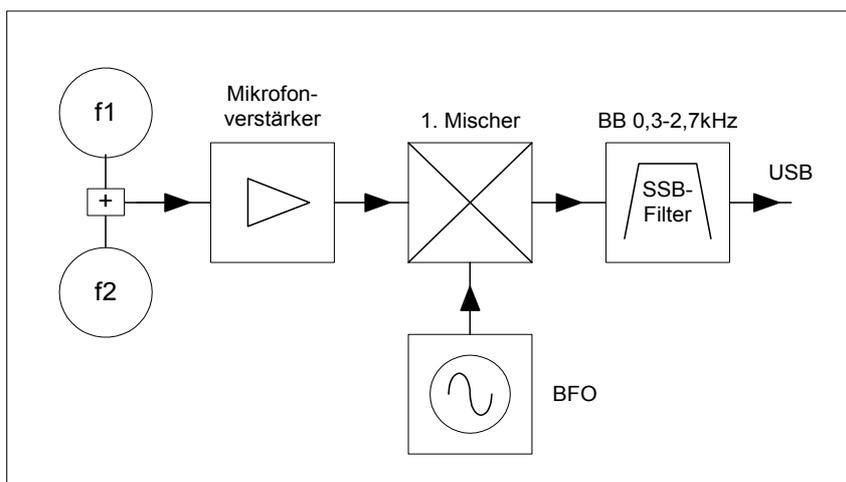
Bei einem ungünstig eingestellten Mikrofonverstärker (Clipper, Kompressor) oder defekten 1.Mischer können schon in den ersten Stufen des Senders IM-Verzerrungen entstehen, die bei falsch gewählten



**Bild 8: In-Band-Intermodulationsmessung**

Tonabständen nicht zur Anzeige kommen. Um eine Fehlmessung zu verhindern, müssen die Doppeltöne demnach sehr dicht beieinander liegen und möglichst in der Filtermitte positioniert werden, so dass die benachbarten IM-Produkte noch mit übertragen werden.

Ein ganz ähnliches Problem zeigt sich auch bei Messungen der Großsignalfestigkeit von SSB-Empfängern. Auch hier wird häufig mit zu großen Signalabständen gemessen und das Ergebnis der Intermodulationsfestigkeit ( $IP_3$ ) auf diese Weise (meist unwissentlich) "geschönt". In **(1)** wurde darüber berichtet.

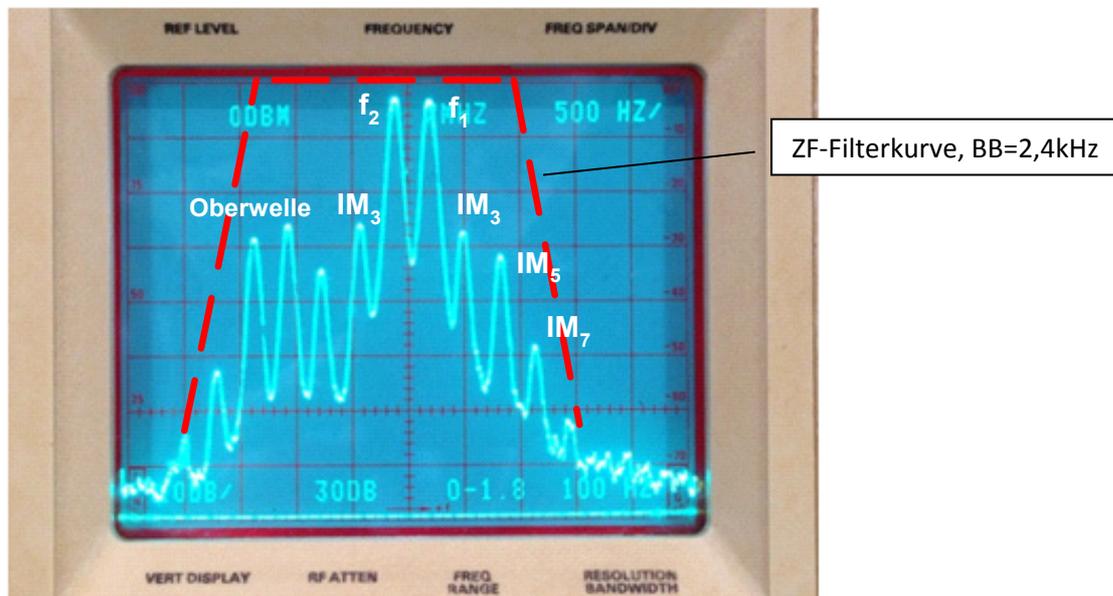


**Bild 9: Messaufbau zur Darstellung von Intermodulation im Mikrofonverstärker und 1.Mischer**

Zur Verdeutlichung falsch gewählter Doppelton-Signalabstände, wird nachfolgend das Spektrum

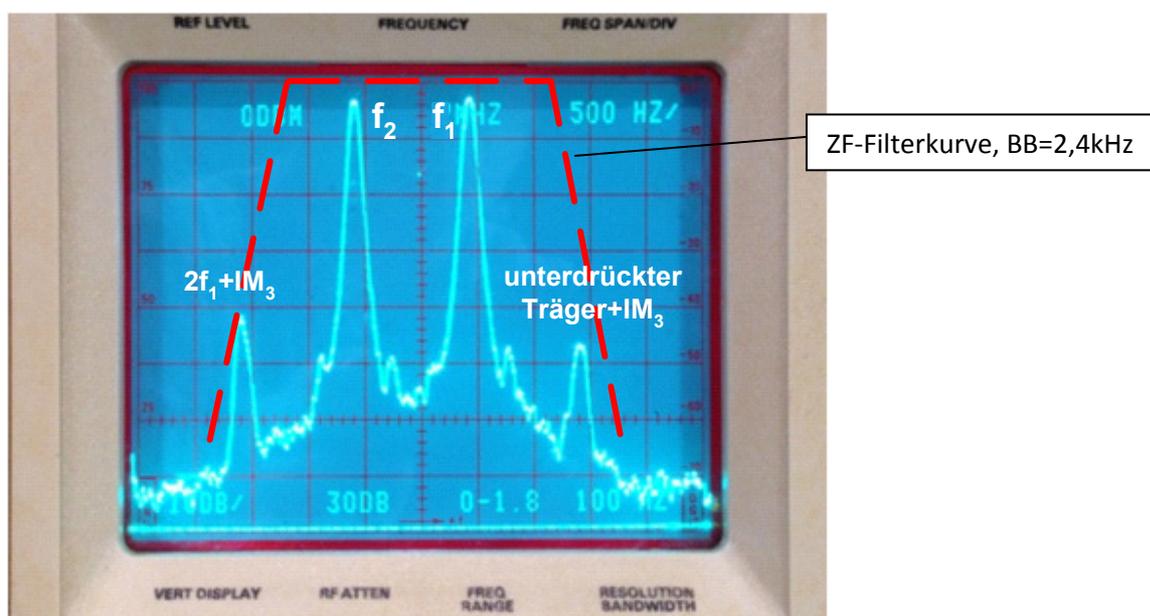
eines (absichtlich) übersteuerten Mikrofonverstärkers (**Bild 9**) gezeigt. Gemessen wurde am 50-Ohm-Ausgang des SSB-Filters.

Eine korrekte "In-Band-Intermodulationsmessung" zeigt **Bild 10**. Die Doppeltöne liegen mit  $\Delta f=350\text{Hz}$  so nah beieinander, dass alle Intermodulationsprodukte ungehindert das SSB-Filter passieren können und auch zur Anzeige kommen.



**Bild 10: Messung mit geringem Doppeltonabstand von  $\Delta f=350\text{Hz}$  ( $f_1=1000\text{Hz}$ ,  $f_2=1350\text{Hz}$ )**

Alle entstehenden IM-Produkte und Oberwellen liegen noch innerhalb der Bandbreite des SSB-Filters und werden mit übertragen. Die  $IM_3$ -Produkte sind nur um ca. 22dB gedämpft und alle Störsignale sind deutlich zu erkennen. Das daraus resultierende, demodulierte NF-Signal, ist schon hörbar verzerrt.



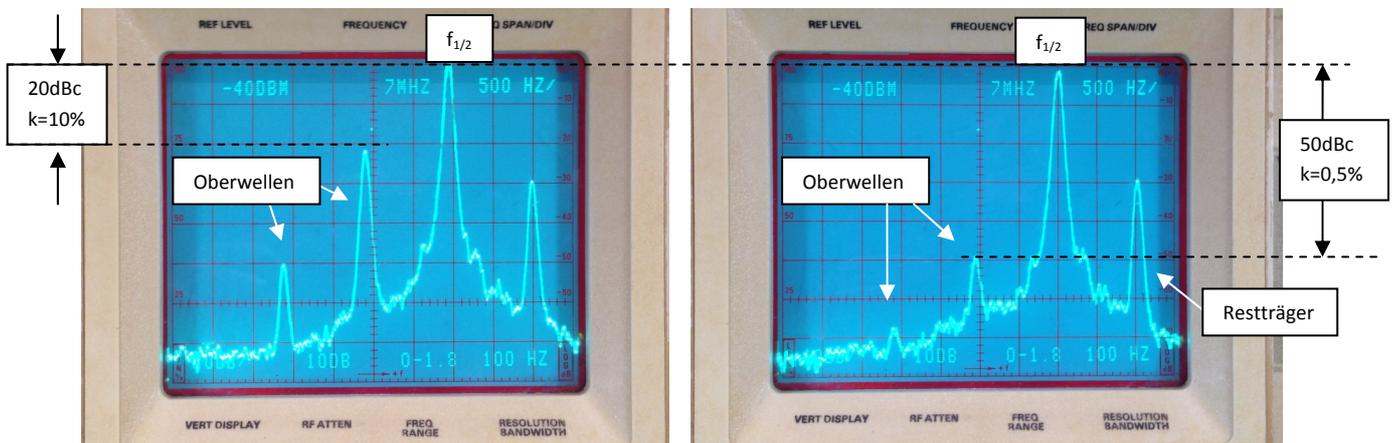
**Bild 11: Messung mit zu großem Doppeltonabstand von  $\Delta f=1000\text{Hz}$  ( $f_1=1000\text{Hz}$ ,  $f_2=2000\text{Hz}$ ).**

Die gleiche Messung, aber mit einem Doppeltonabstand von  $\Delta f=1000\text{Hz}$ , zeigt **Bild 11**. Alle IM-Produkte liegen jetzt außerhalb der Bandbreite des SSB-Filters, werden von den Filterflanken abgeschnitten und kommen nicht zur Anzeige. Die tatsächlich entstehenden Verzerrungen des SSB-Modulators sind nicht zu erkennen und werden nicht übertragen.

### 3.) NF-Klirrfaktor des 2-Ton-Generators

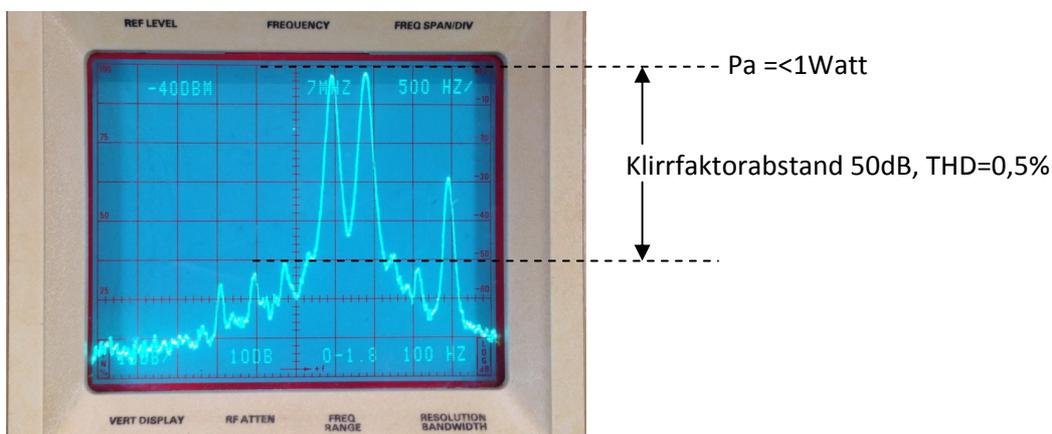
#### Klirrfaktormessung im HF-Bereich

Bevor man den NF-Doppelton-Generator für  $\text{IM}_3$ -Messungen einsetzt, muß der Klirrfaktor beider Töne noch kontrolliert und gegebenenfalls eingestellt werden. Dazu verbinden wir zunächst die einzelnen NF-Signale mit dem Mikrofoneingang des SSB-Senders (**s. Bild 4**) und kontrollieren das entstehende Spektrum am Ausgang des Senders. Im nicht abgeglichenen Zustand, erzeugen beide Generatoren einen Klirrfaktor von bis zu 10% (**Bild12, links**).



**Bild 12: Nicht abgeglichener NF-Generator (links) und abgeglichener NF-Generator (rechts),  $f=1000\text{Hz}$**

Nach erfolgreichem Abgleich über die Trimmer "Symmetry Adjust" und "Sine Adjust" sind die Oberwellen beider Generatoren um ca. 50dB unterdrückt und die Klirrfaktoren erreichen Werte von  $<0,5\%$  (**Bild 12, rechts**). Erst jetzt können die beiden NF-Signale für  $\text{IM}_3$ -Messungen eingesetzt werden. Die Oberwellenmessung im HF-Bereich bietet den Vorteil, dass hierbei die Linearität des gesamten SSB-Senders in das Messergebnis mit einbezogen wird (Mikrofonverstärker, 1.Mischer, Verstärker,...) und der gemessene Wert den tatsächlichen Verhältnissen wohl am ehesten entspricht.



**Bild 13: Spektrum des 2-Ton-Generators bei geringer HF-Ausgangsleistung,  $f_1=1000\text{Hz}$ ,  $f_2=1500\text{Hz}$**

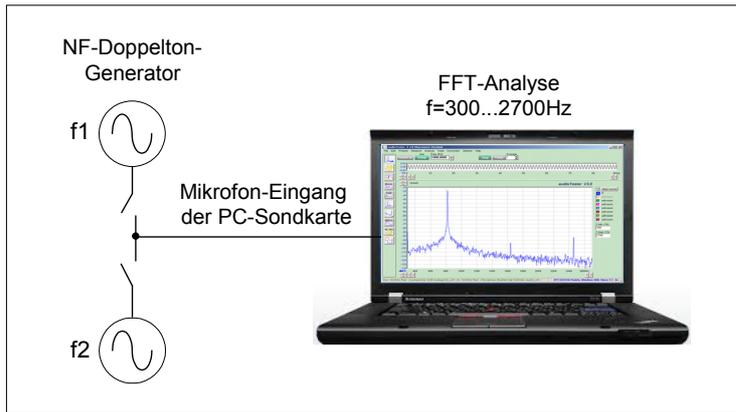
Anschließend testen wir die Funktionalität des kompletten 2-Ton-Generators im HF-Bereich, indem wir beide Töne in den Mikrofoneingang des Senders einspeisen (**Bild 13**). Die Ausgangsleistung des Senders wird hierbei auf einen geringen Wert eingestellt ( $<1\text{Watt}$ ) eingestellt, so dass sicher gestellt

ist, dass vom Sender noch keine messbare Intermodulation erzeugt wird.

Messergebnis: Der Nebenwellenabstand beträgt 50dBc und der 2-Ton-Generator ist damit für IM<sub>3</sub>-Messungen gut geeignet.

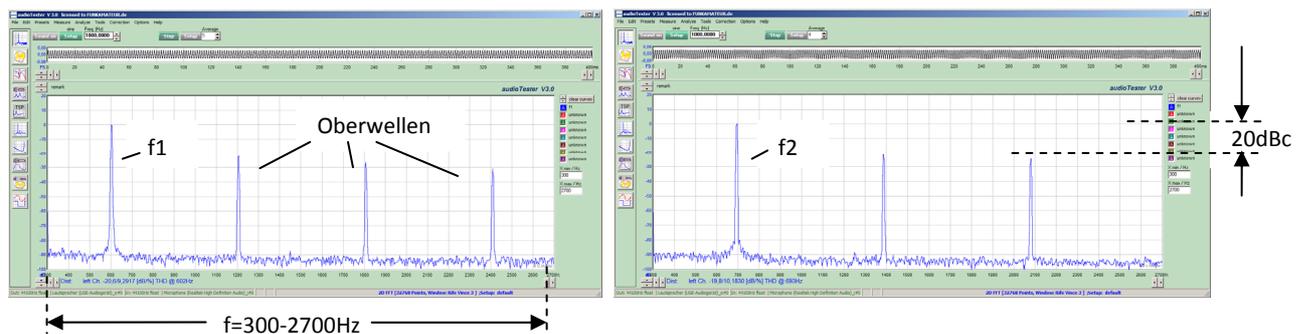
**Klirrfaktormessung im NF-Bereich**

Natürlich kann man den Klirrfaktor der Doppeltöne auch direkt im NF-Bereich messen. Dazu verbindet man die NF-Signale mit dem Mikrofoneingang der Soundkarte eines PC/Notebook (**Bild 14**) und analysiert das resultierende Signal im Frequenzbereich mit Hilfe einer FFT-Software. (<http://www.audiotester.de>)

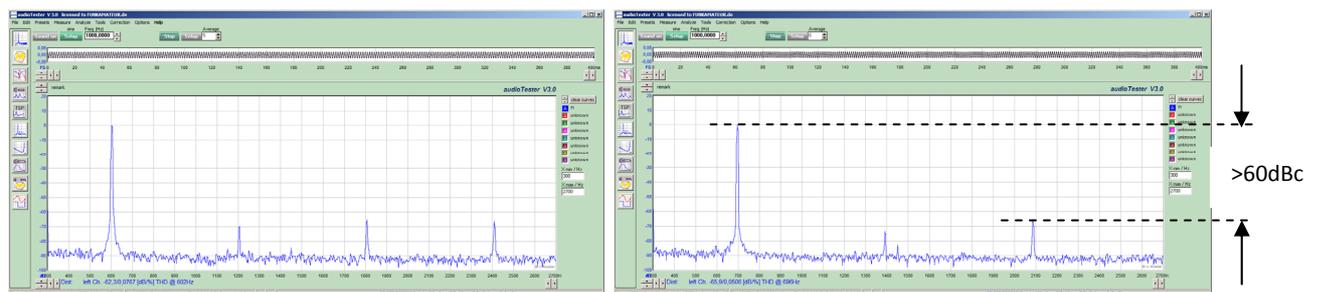


**Bild 14: NF-Klirrfaktormessung über PC-Soundkarte**

Das Spektrum noch nicht abgeglicher Einzeltonsignale bei f1=600Hz und f2=700Hz ( $\Delta f=100\text{Hz}$ ) zeigt **Bild 15**. Die NF-Frequenzen wurden absichtlich so niedrig gewählt, damit die Oberwellen noch bis zur 3. Harmonischen erkennbar sind. Beide Grundsignale erzeugen ohne Abstimmung starke Harmonische, resultierend in einem Klirrfaktor von ca. 10%. Nach Abgleich auf geringsten Klirrfaktor über die Trimmer 'Symmetry Adjust' und 'Sine Adjust', wird für beide Töne ein Oberwellenabstand von >60dBc erreicht (**Bild 16**).

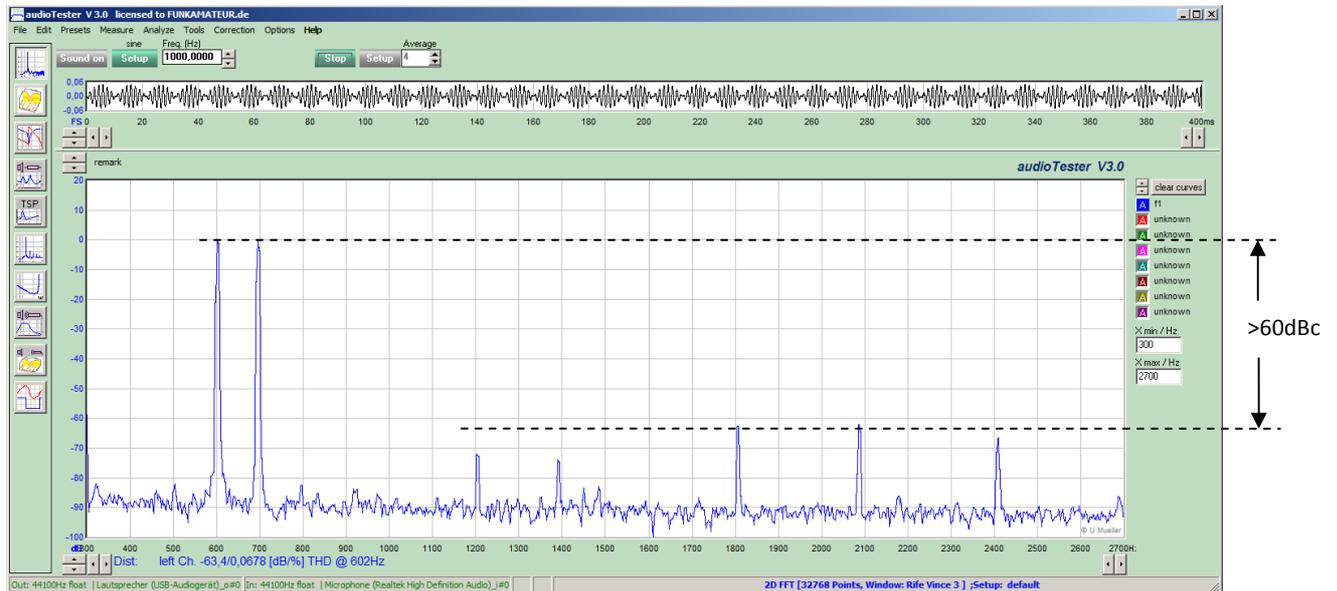


**Bild 15: Oberwellen (Klirrfaktor) von f1 und f2 vor dem Abgleich, THD=10%**

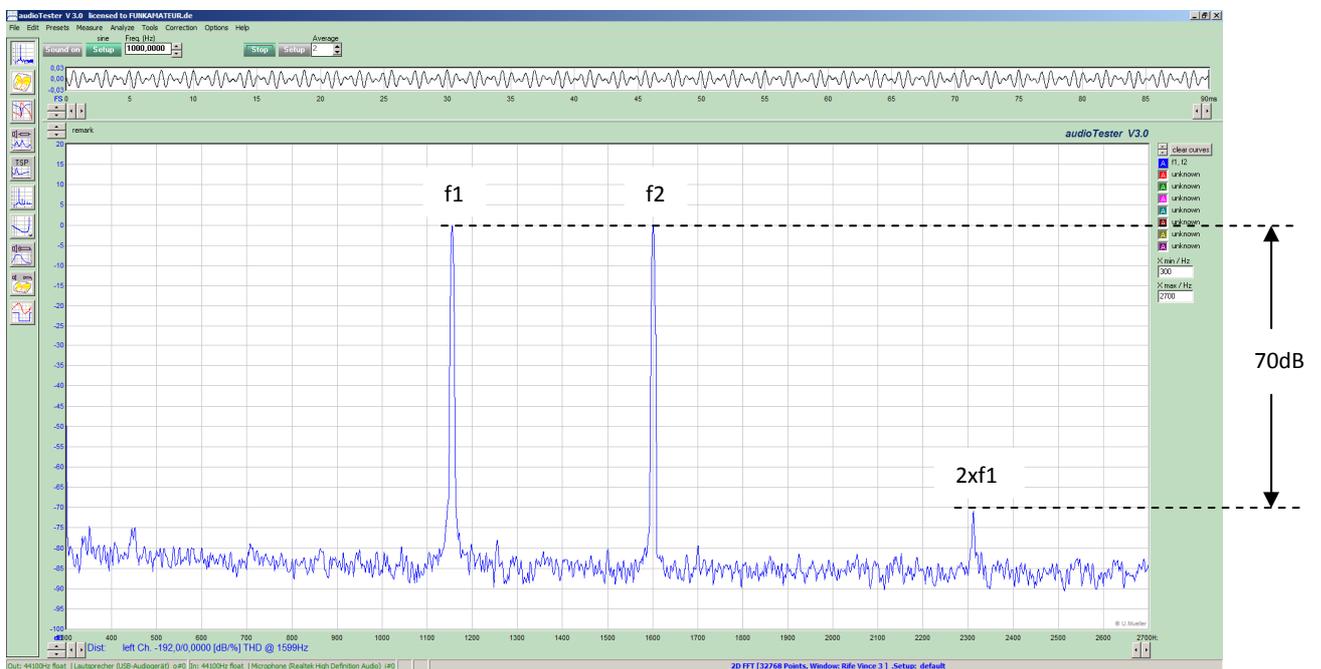


**Bild 16: Oberwellen (Klirrfaktor) von f1 und f2 nach dem Abgleich, THD<0,1%**

Anschließend speisen wir beide Signale in den Mikrofoneingang des PC's und kontrollieren das komplette Doppeltonsignal (**Bild 16**). Außer den Nutzsignalen ( $f_1$ ,  $f_2$ ) sind nur die Oberwellen ( $2xf_1$  und  $2xf_2$ ) im Spektrum zu erkennen. Der Pegelabstand zwischen Nutz- und Störsignalen (Harmonischen) beträgt  $>60\text{dBc}$ .



**Bild17: NF-Doppeltonsignal ( $f_1=600\text{Hz}$ ,  $f_2=700\text{Hz}$ ) nach Abgleich auf geringen Klirrfaktor**



**Bild 18: NF Doppelton-Signal bei  $1150\text{Hz}$  und  $1600\text{Hz}$ , Bandbreite  $300\text{...}2700\text{Hz}$ , Oberwellenabstand  $70\text{dB}$**

**Bild 18** zeigt das Spektrum eines Doppeltonsignals bei  $f_1=1150\text{Hz}$  und  $f_2=1600\text{Hz}$ . Diese Frequenzen können gut für  $\text{IM}_3$ -Messungen verwendet werden. Der Tonabstand beträgt  $450\text{Hz}$ . Weiterhin ist im Spektrum erkennbar, dass die Modulationssignale keine Intermodulation erzeugen.

#### 4.) Dürfen die Frequenzen der Doppeltöne "harmonisch" zueinander sein?

Es wurde bereits erwähnt, dass der Tonabstand zueinander gering sein sollte und beide Töne möglichst in der Mitte des SSB-Filters platziert werden sollten. Die noch offene Frage ist, welche genauen Frequenzen beide Töne haben sollten. Ein Beispiel in **Bild 19** zeigt das Spektrum einer 10 Watt Endstufe mit den Tonfrequenzen  $f_1=1000\text{Hz}$  und  $f_2=1500\text{Hz}$  ( $\Delta f=500\text{Hz}$ ).

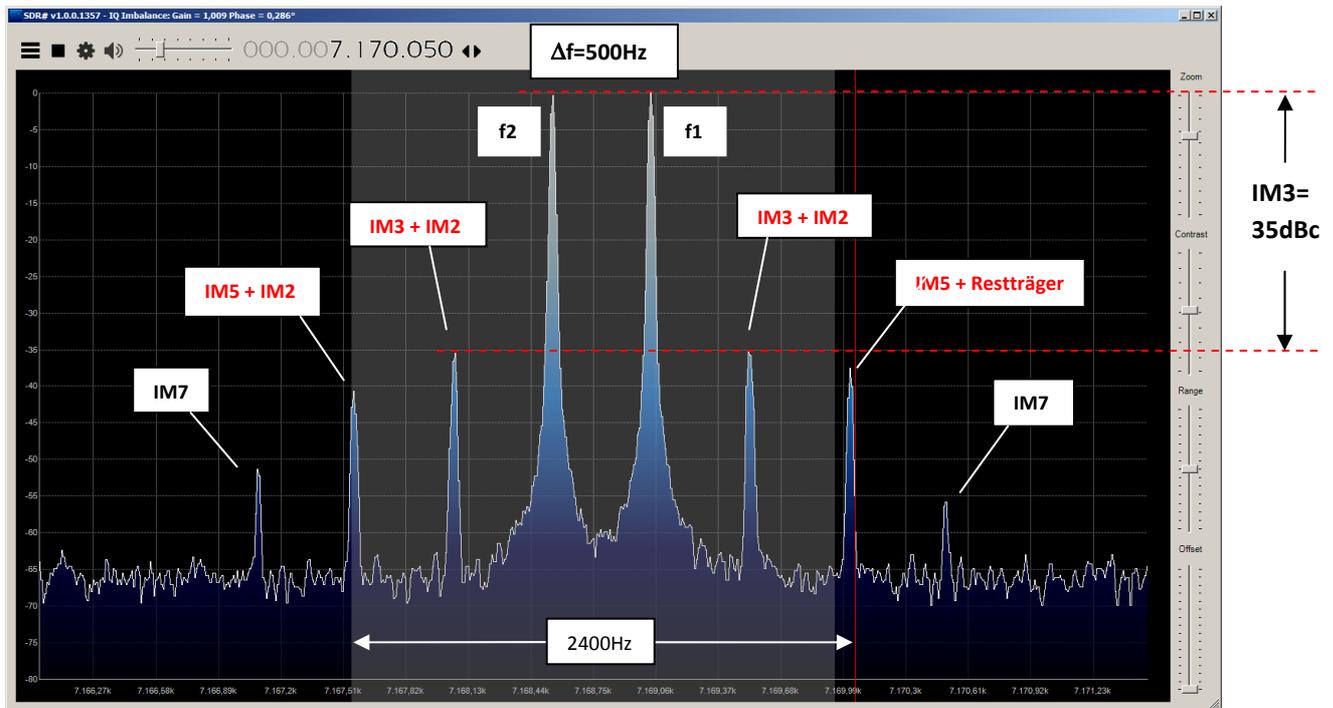


Bild 19: Spektrum mit harmonischen NF-Signalen,  $f_1=1000\text{Hz}$ ,  $f_2 = 1500\text{Hz}$ ,  $P=10\text{Watt}$  (falsch)

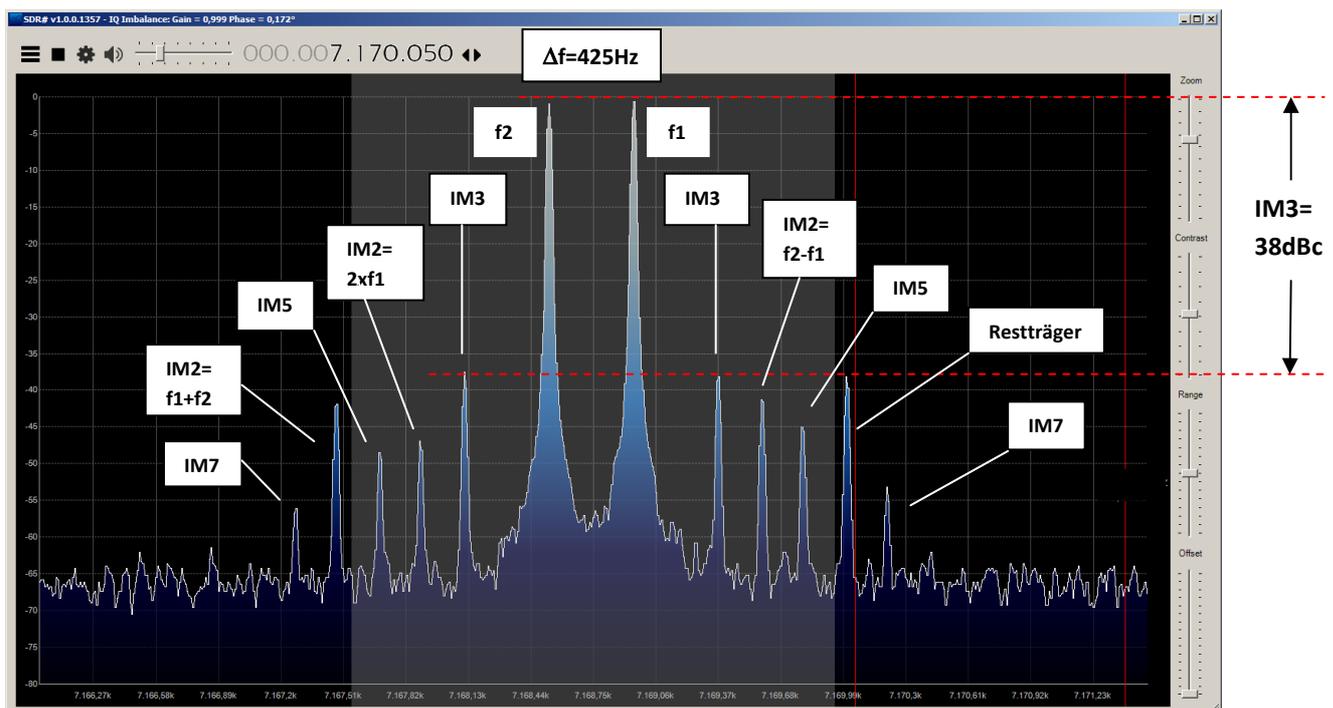


Bild 20: Spektrum mit nicht harmonischen NF-Signalen,  $f_1=1075\text{Hz}$ ,  $f_2=1500\text{Hz}$ ,  $P=10\text{Watt}$  (richtig)

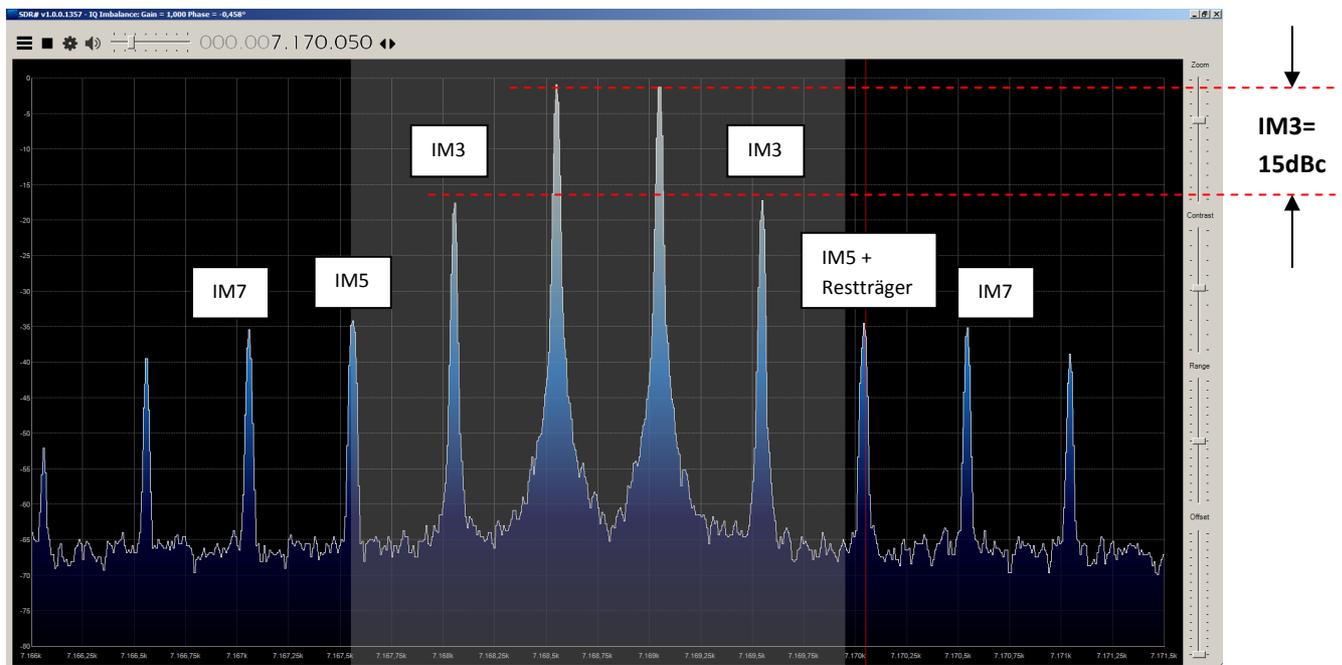
Die Vielfachen beider Töne sind harmonisch zueinander ( $3 \times f_1 = 2 \times f_2$ ) und das entstehende Spektrum ist "sauber" und die Intermodulationsprodukte sind deutlich zu erkennen. Das Problem bei dieser Messung ist jedoch, dass die IM-Produkte gerader Ordnung mit den IM-Produkten ungerader Ordnung zusammen fallen (über einander liegen) und die daraus resultierenden Summenpegel der Intermodulationsprodukte unter Umständen zu groß, d.h. falsch sein können! An allen "rot" markierten Stellen fallen Intermodulationsprodukte 2. und 3.-Ordnung zusammen.

Die gleiche Messung zeigt **Bild 20**, jetzt aber mit Tonabständen von 1075Hz und 1500Hz ( $\Delta f = 425\text{Hz}$ ). Beide Frequenzen sind nicht harmonisch zueinander und erst jetzt sind alle Intermodulationsprodukte mit ihren tatsächlichen Pegeln erkennbar! Neben den IM-Produkten ungerader Ordnung (IM3,4,5...) sind jetzt auch die IM-Produkte gerader Ordnung ( $f_2 - f_1$ ) und ( $f_1 + f_2$ ) sichtbar, die zuvor von den Produkten 3. und 5.Ordnung abgedeckt wurden! Obwohl das Spektrum aufgrund seiner vielen Linien auf den ersten Blick unübersichtlich erscheint, ist nur diese Messung korrekt. Der tatsächliche  $IM_3$ -Wert des SSB-Senders beträgt **38dBc**, (bezogen auf PEP 44dBc) und nicht wie zuvor gemessen **35dBc**! Auch die Pegel der  $IM_5$ - und  $IM_7$ -Produkte zeigen andere Ergebnisse.

Erst bei starker Übersteuerung des Senders (PA) und großen Intermodulationsverzerrungen - wie in **Bild 21 und 22** - wird es unerheblich, ob die Tonfrequenzen harmonisch zueinander liegen oder nicht, weil die  $IM_3$ -Produkte dann sehr viel größer ausfallen als alle anderen Spektrallinien und die Messfehler dann unerheblich werden.

Anmerkung:

Aufgrund der hohen spektralem Auflösung wurden die Messungen in **Bild 18 bis 21** mit einem SDR-Receiver (SDR USB-DVBT-Stick) aus **(6)** durchgeführt.



**Bild 21: Stark übersteuerter Sender mit harmonischen Frequenzen  $f_1=1000\text{Hz}$  und  $f_2=1500\text{Hz}$ ,  $P=18\text{Watt}$**

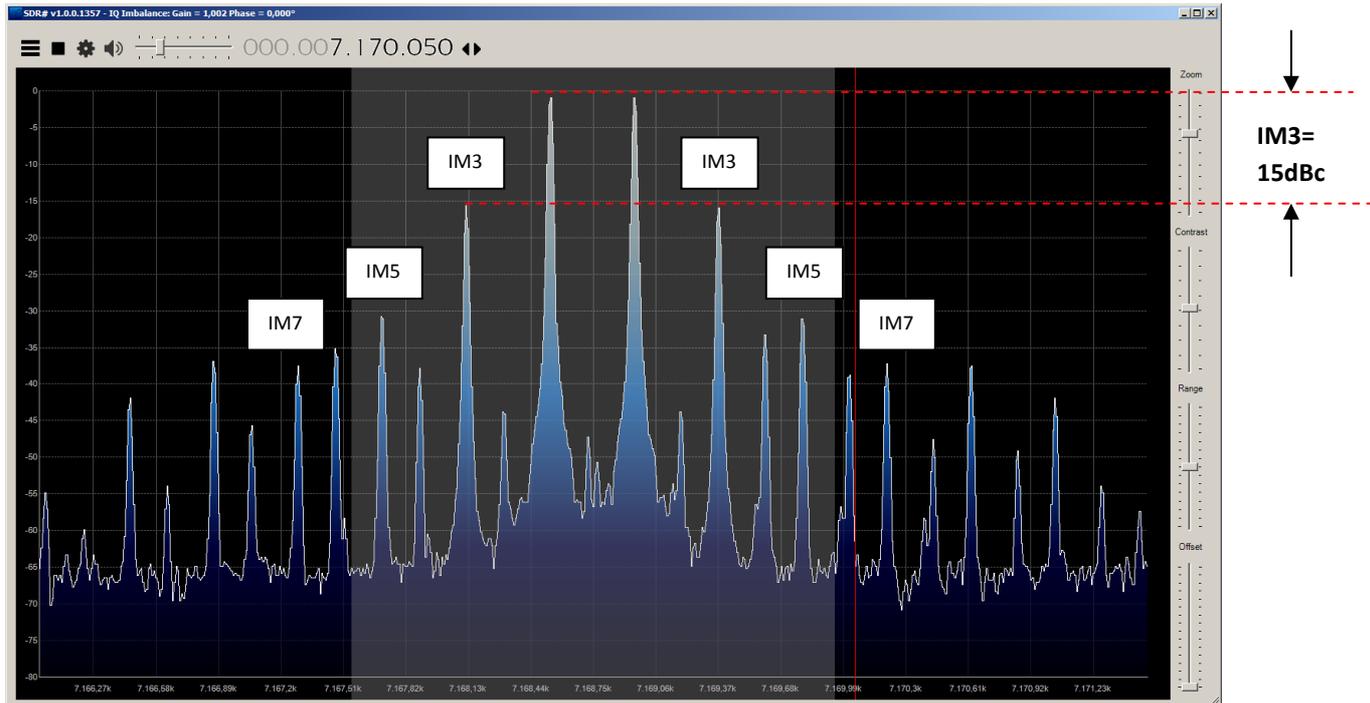


Bild 22: Stark übersteuerter Sender mit nicht harmonischer Frequenz  $f_1=1075\text{Hz}$  und  $f_2=1500\text{Hz}$ ,  $P=18\text{Watt}$

## Zusammenfassung

### Abstand der Tonfrequenzen ( $\Delta f_{1,2}$ )

Zur Erfassung der "Inband-Intermodulation" von SSB-Sendern, muß die Frequenzdifferenz beider Tonsignale sehr gering zueinander sein ( $\Delta f_{1,2} \leq 550\text{Hz}$ ) und beide Signale sollten in Filtermitte positioniert werden. Soll die Inband-IM nicht mit erfasst werden, kann der Tonabstand auch groß sein ( $\Delta f_{1,2} = 1 \dots 2\text{kHz}$ ). Eventuelle Nichtlinearitäten des Mikrofonverstärkers (AGC, etc.) und des 1. Sendemischers werden dann jedoch nicht mit erfasst.

### Tonfrequenzwahl (harmonisch/nicht harmonisch)

Bei Wahl der Tonfrequenzen sollte darauf geachtet werden, dass die beiden Frequenzen nicht harmonisch zueinander liegen. Ansonsten fallen die Frequenzen gerader und ungerader Ordnung zusammen und die Meßergebnisse können falsch sein.

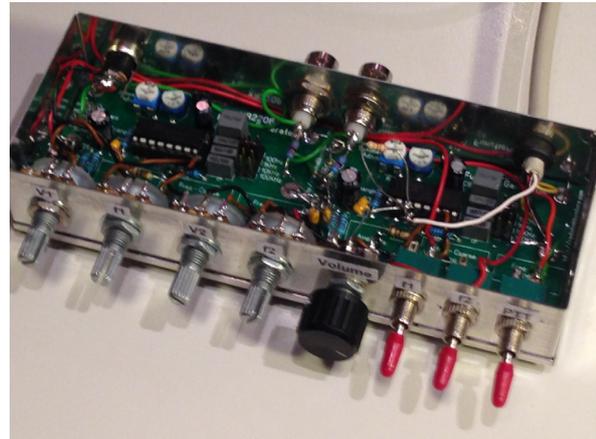
Nicht harmonische Frequenzen sind z.B.: 1075/1500Hz, 1150/1600Hz, 1200/1675Hz, 1350/1900Hz

Harmonische Frequenzen sind z.B.: 500Hz/1000Hz, 800Hz/1600Hz, 1000Hz/1500Hz

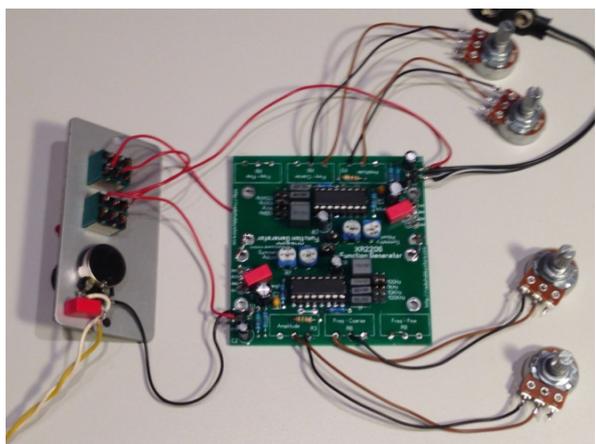
### Klirrfaktor

Der Klirrfaktor beider Tonsignale sollte gering sein ( $< 1\%$ ). Ansonsten wird die Analyse schwierig und die Oberwellen können mit anderen Signalen intermodulieren.

## Aufbau von NF-Doppelton-Generatoren



**Bild 23:** NF-Doppelton-Generator im geschirmten Gehäuse, Mikrofon-Anschlußkabel zum Transceiver und PTT-Schalter, Rückseite mit Meßausgang von f1 und f2, MIC-Anschlusskabel und 12V-DC-Eingang



**Bild 24:** Aufbau eines NF-Doppelton-Generators in einem kompakten Gehäuse

### Literatur

- (1) **In-Band IM3-Messungen am Beispiel des IC7800**, CQ-DL 8/2005, Seite 544-548  
[https://dc4ku.darc.de/Inband\\_Intermodulation.pdf](https://dc4ku.darc.de/Inband_Intermodulation.pdf)  
<http://www.ab4oj.com/test/imdtest/main.html>
- (2) **Intermodulationsmessungen an HF-Sendern und HF-Endstufen**  
[https://dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung\\_an\\_HF-Sendern.pdf](https://dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung_an_HF-Sendern.pdf)
- (3) **HF-Doppelton-Generator für IM3-Messungen an HF-Endstufen und Transceivern**  
<https://dc4ku.darc.de/HF-Doppelton-Generator.pdf>
- (4) **Messung kritischer Spezifikationen eines Empfängers**  
[https://dc4ku.darc.de/Messung\\_kritischer\\_Spezifikationen.pdf](https://dc4ku.darc.de/Messung_kritischer_Spezifikationen.pdf)

**(5) Nichtlineare Verzerrungen - richtig gemessen**

[https://dc4ku.darc.de/Nichtlineare\\_Verzerrungen.pdf](https://dc4ku.darc.de/Nichtlineare_Verzerrungen.pdf)

**(6) Applikationen eines SDR-Receivers, SDR-Receiver als Spektrumanalysator**

[https://dc4ku.darc.de/Applikationen\\_eines\\_SDR-Receivers.pdf](https://dc4ku.darc.de/Applikationen_eines_SDR-Receivers.pdf)

**(7) Bauplan XR2206 Funktionsgenerator**

<http://www.loetstelle.net/projekte/xr2206/xr2206.php>

Werner Schnorrenberg

DC4KU, dc4ku@darc.de

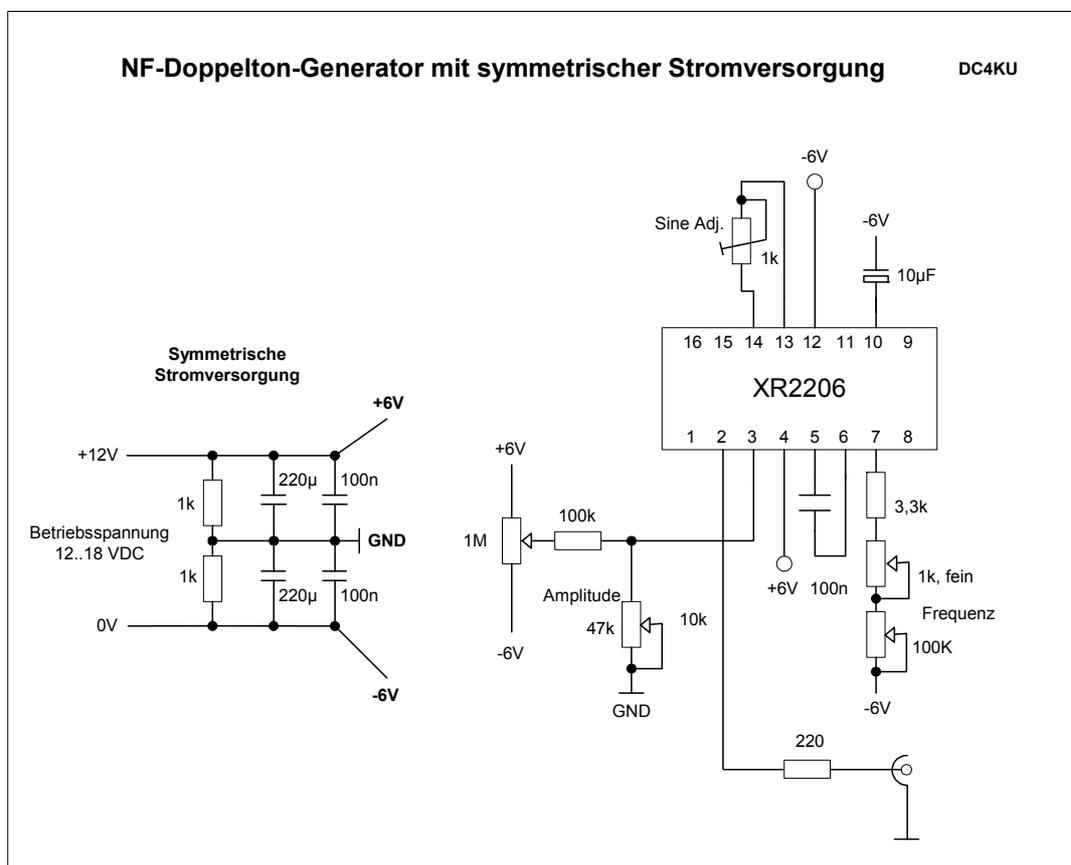
Dez. 2014

Rev. 07.02.2015, Rev. 08.08.2015, Rev. 26.11.2015

**Nachtrag zu Stromversorgung von XR2206**

Zur Verringerung des Klirrfaktors kann es zweckmäßig sein, das Modul mit symmetrischer Spannung zu versorgen. Hierzu verwendet man entweder eine symmetrische Stromversorgung oder eine Stromversorgung mit virtueller Masse (**Bild 25**). Mit einer (massefreien) Gleichspannung von 12V wird eine virtuelle Masse auf halber Betriebsspannung gebildet und das Ausgangssignal liegt auf diesem Potential (+/-6V).

Am besten verwendet man jedoch ein Netzteil, das schon eine symmetrische Spannung von +/- 6..9 Volt liefert.



**Bild 25: Symmetrische Stromversorgung für XR2206**