

Version 1.3 vom 05.03.2009

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Messungen am Empfänger .....</b>	<b>2</b>
1.1	Zusammenfassung der Empfängerdaten .....	2
1.2	Intermodulation .....	3
1.2.1	Bestimmung des Interceptpunktes IP3.....	3
1.2.2	Bestimmung des IM3-freien Dynamikbereiches .....	4
1.2.3	Die Interceptpunkte zweiter Ordnung, IP2.....	6
1.2.4	IM2-freier Dynamikbereich .....	7
1.3	Selektivität der CW-Filter.....	8
1.3.1	Gemessene Dämpfungscharakteristiken der CW-Filter .....	8
1.4	Selektivität der SSB-Filter .....	10
1.4.1	Gemessene Dämpfungscharakteristiken der SSB-Filter .....	11
1.5	Eigenschaften des AM-Demodulators.....	13
1.5.1	Frequenzgang des AM-Demodulators.....	14
1.5.2	Inband Intermodulation.....	16
1.6	Reziprokes Mischen.....	17
<b>2</b>	<b>Messungen am Tx_Modul .....</b>	<b>18</b>
2.1	Die adaptive Predistortion .....	18
2.1.1	Wirksamkeit der Predistortion bei verschiedenen Modulationsfrequenzen .....	21
2.1.2	Sendespektren als Funktion der Sendeleistung .....	24
2.2	Neben- und Oberwellen .....	27
2.3	Spektrum CW-Keyer .....	32
2.4	Ein- und Ausschaltverzögerung für die PA-Steuerung.....	35

# 1 Messungen am Empfänger

## 1.1 Zusammenfassung der Empfängerdaten

a) SSB, Bandbreite = 2400Hz

	Vorverst. 10dB	VV = 0dB, Att = 0dB	Att = 10dB	Att = 25dB
MDS	-132dBm	-122dBm	-112dBm	-97dBm
NF	9dB	19dB	29dB	44dB
max.Input	-18.5dBm	-8dBm	2dBm	+17dBm
stat. DR	113.5dB	114dB	114dB	114dB
IP3 <sup>1)</sup>	18dBm	29dBm	39dBm	>40dBm
IP2		>60dBm		
DR3 theor.	100dB	100.6dB	100.6dB	100.6dB
DR3 eff.	96dB	96dB		

a) CW, Bandbreite = 500Hz

	Vorverst. 10dB	VV = 0dB, Att = 0dB	Att = 10dB	Att = 25dB
MDS	-138dBm	-128dBm	-118dBm	-103dBm
NF	9dB	19dB	29dB	44dB
max.Input	-18.5dBm	-8dBm	2dBm	+17dBm
DR	119.5dB	120dB	120dB	120dB
IP3 <sup>1)</sup>	18dBm	29dBm	39dBm	>40dBm
IP2		>60dBm		
DR3 theor.	104dB	104.7dB	104.7dB	104.7dB
DR3 eff.		99dB		

<sup>1)</sup> nahe am Kompressionspunkt (max. Input) gemessen, d.h.  $P_{\text{Carrier}} = \text{Max\_Input} - 6\text{dB}$

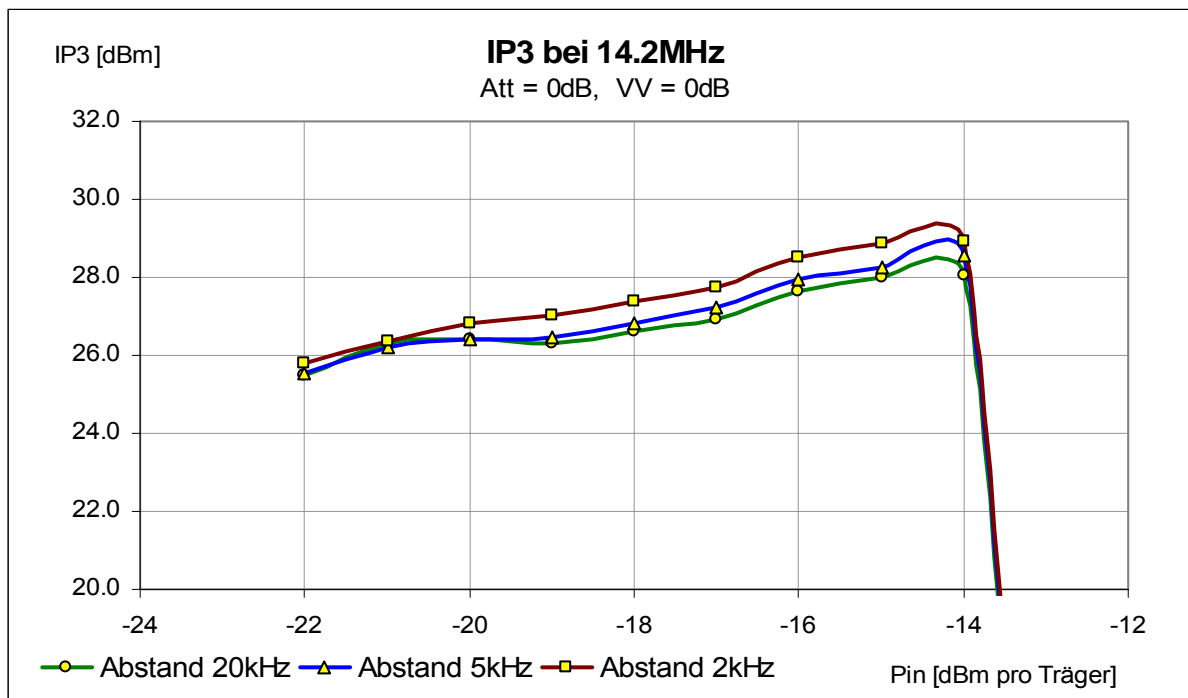
### Begriffserklärungen:

- MDS Minimum Discernible Signal ( =  $-174\text{dBm} + 10 \cdot \log(B) + \text{NF}$  )
- NF Noise Figure ( = Rauschmass in dB )
- max\_Input maximales Eingangssignal an der Übersteuerungsgrenze des AD-Wandlers
- DR Dynamikbereich ( = max. Input – MDS )
- DR3 eff. Intermodulationsfreier Dynamikbereich, wenn IM3-Produkt = MDS

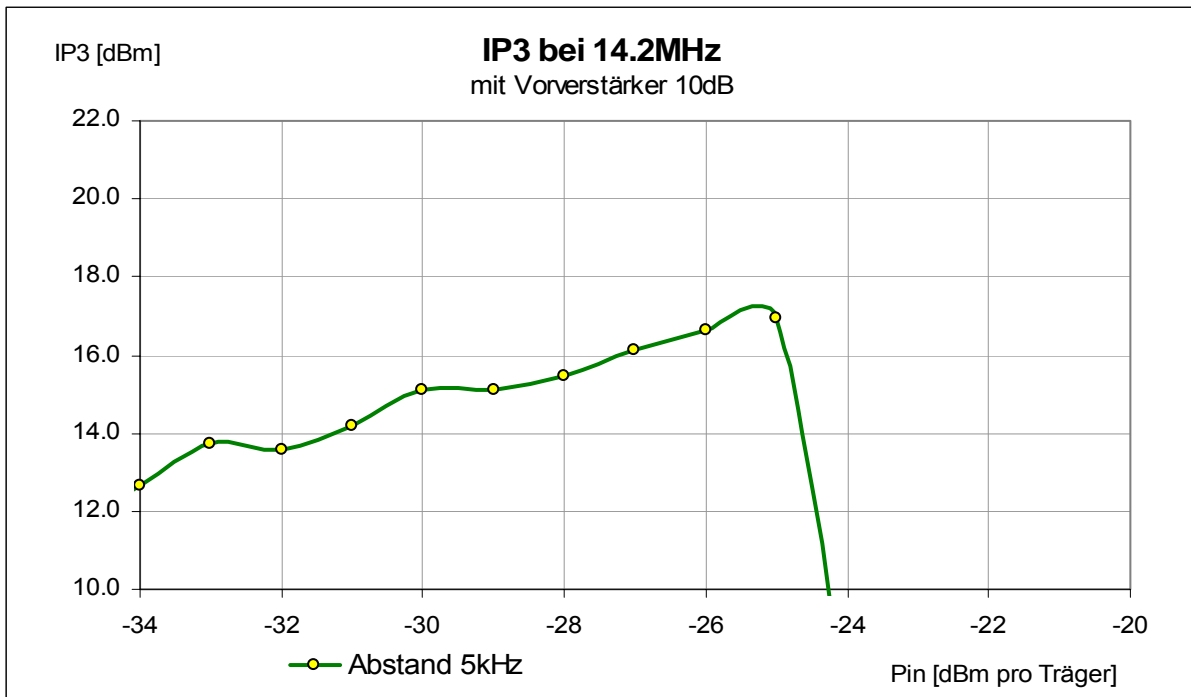
### 1.2 Intermodulation

Die Intermodulation wird üblicherweise durch den Intercept Point (IP) ausgedrückt. Der IP ist eine rein rechnerische Grösse und setzt ein bestimmtes Verzerrungsverhalten eines analogen Vierpols voraus, das bei AD-Wandlern nicht gegeben ist. Während die IM3-Produkte eines analogen Vierpols mit 3dB pro 1dB Erhöhung des Eingangssignals ansteigen, sind sie bei einem AD-Wandler in erster Näherung konstant. Dadurch wird der IP3 abhängig vom Eingangspegel und erreicht sein Maximum an der Übersteuerungsgrenze.

#### 1.2.1 Bestimmung des Interceptpunktes IP3



Ein atypisches Merkmal des AD-Wandlers ist, dass der IP3 bei Verringerung des Trägerabstandes zunimmt. Die Tatsache, dass die IM3-Produkte nicht kubisch zum Eingangssignal abnehmen, lässt eine IP3-Berechnung nur nahe an der Übersteuerungsgrenze zu.

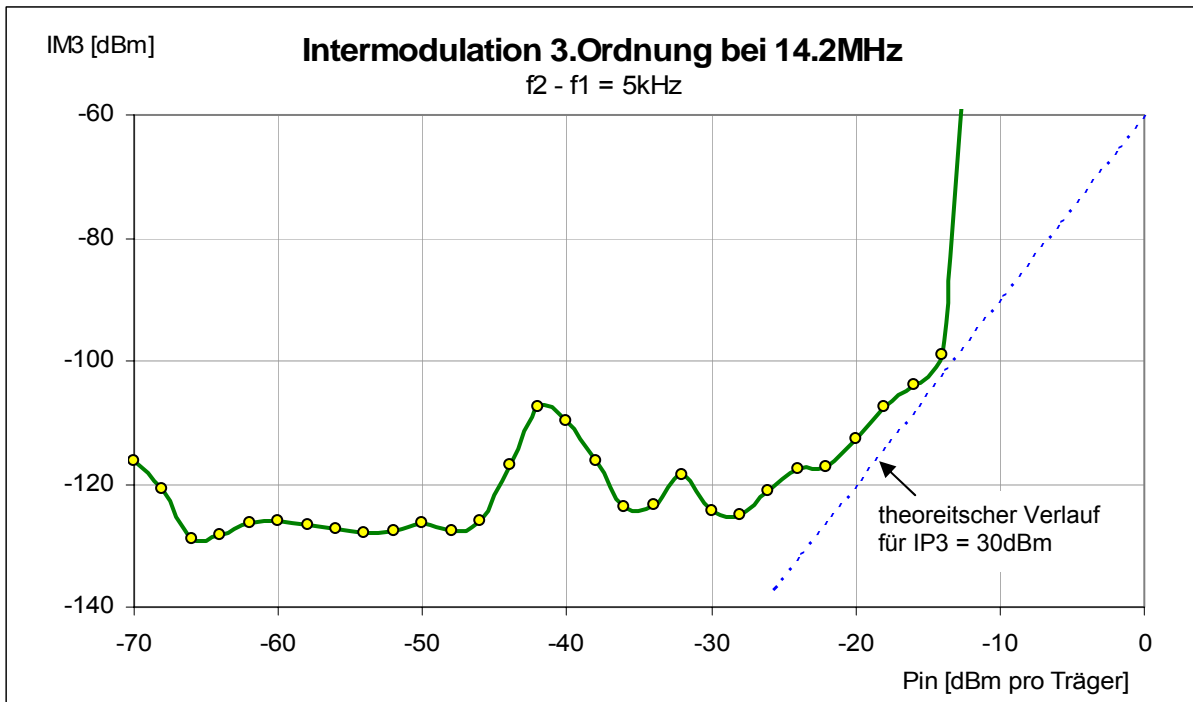


### 1.2.2 Bestimmung des IM3-freien Dynamikbereiches

Bei der herkömmlichen Berechnung des IM3-freien Dynamikbereiches (DR3) hat man den Punkt herangezogen, bei dem die Bedingung  $P_{IM3} = MDS$  erfüllt ist. Nach der untenstehenden Formel würde der DR3 105.2dB betragen. Diese gilt aber nur unter der Voraussetzung, dass das der IP3 unabhängig vom Eingangssignal ist, was im vorliegenden Fall nicht gegeben ist.

$$DR3 = \frac{2[IP3 - MDS]}{3} = 104.7dB \quad (B = 500Hz)$$

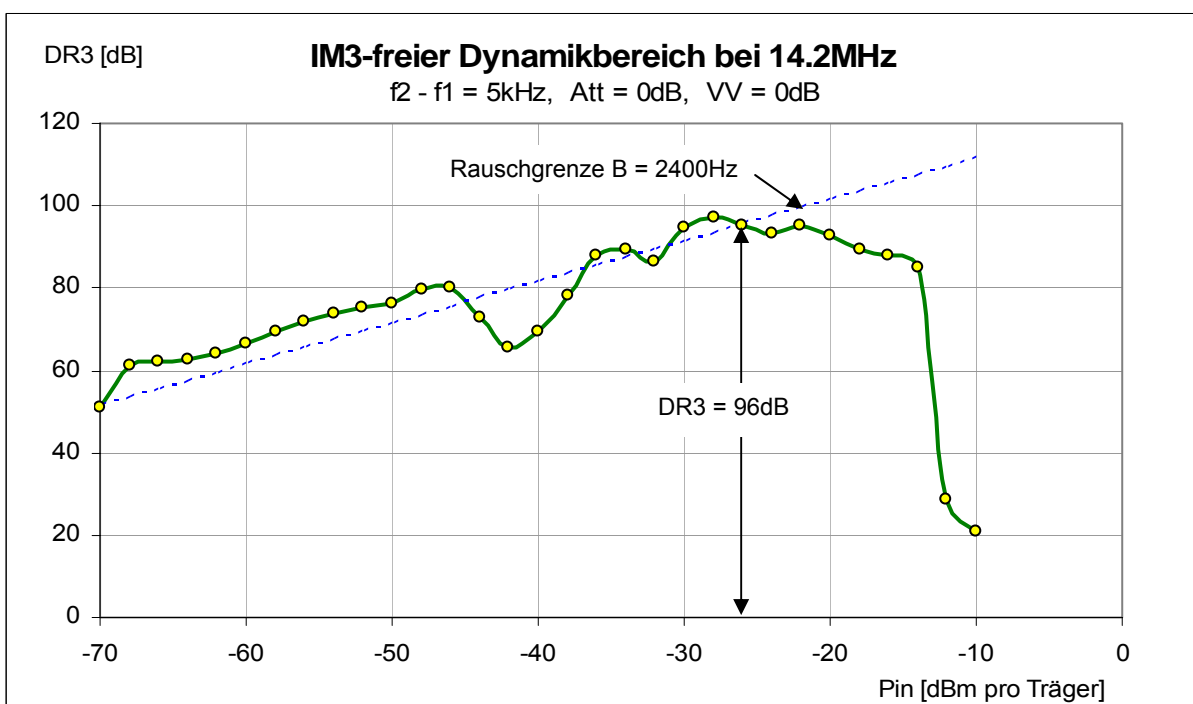
Durch die Tatsache, dass im AD-Wandler mit der Verringerung des Eingangspegels die Auflösung von anfänglich 14 bits linear abnimmt, führt dazu, dass die IM3-Produkte innerhalb einem bestimmten Schwankungsbereich konstant bleiben. Damit nimmt der DR3 in erster Näherung linear mit dem Eingangssignal ab.



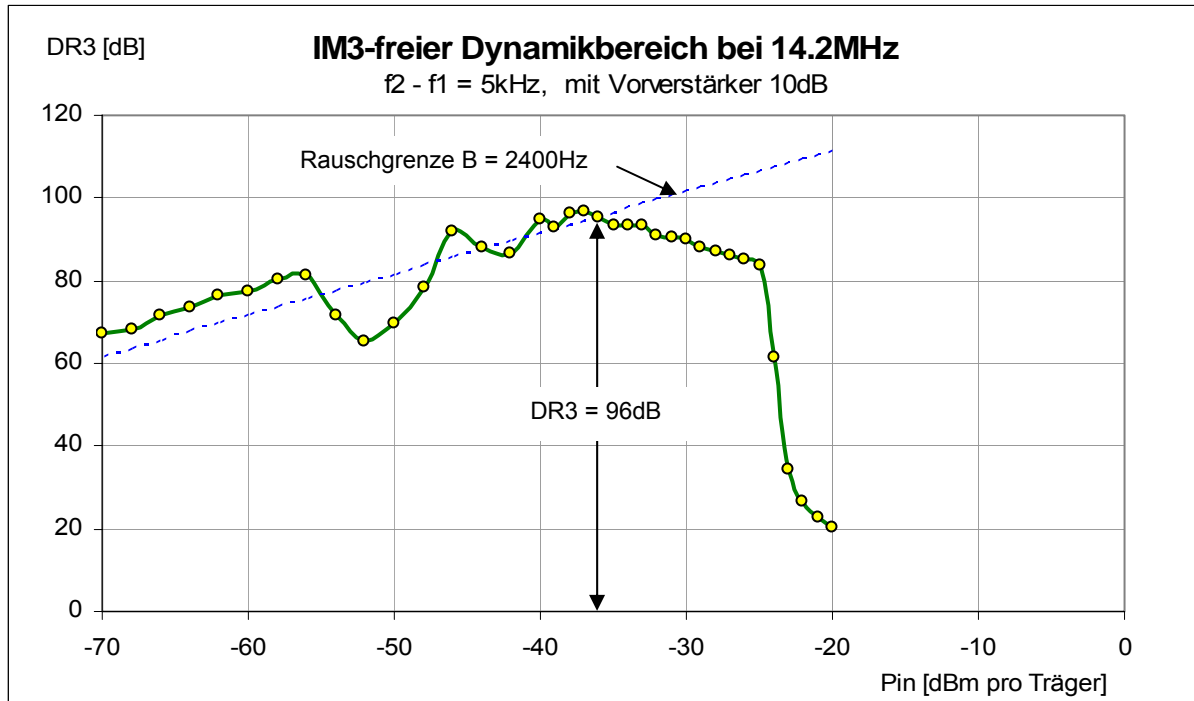
Bei der oben abgebildeten IM-Messung lässt sich ein Kompressionspunkt von  $-14\text{dBm}$  ermitteln. Dabei handelt es sich um die Leistung des einen von zwei Trägern. Die Summenspannung ist um  $6\text{dB}$  höher. Daher beträgt die maximale Eingangsspannung:

$$\text{Max. Input} = -14\text{dBm} + 6\text{ dB} = -8\text{dBm an } 50\Omega$$

Dieser Wert gilt, wenn Vorverstärker und Attenuator ausgeschaltet sind.

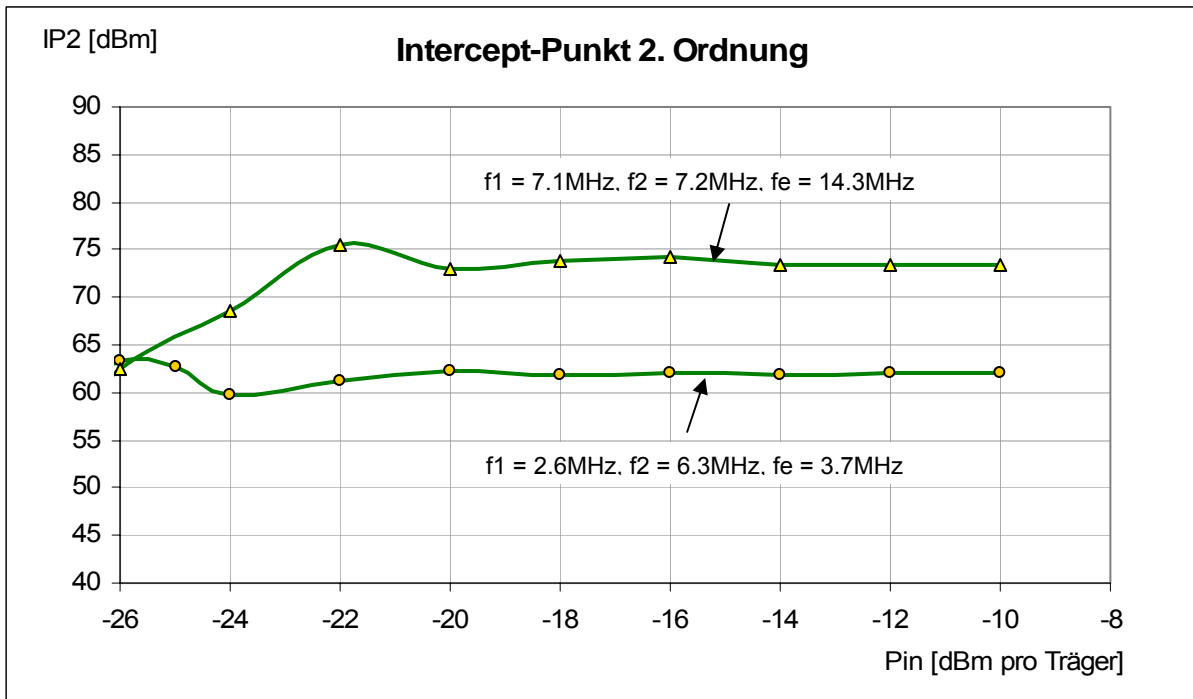


Der Einbruch des DR3 bei -42dBm rührt von Ungenauigkeiten her im Übergang zwischen zwei Wandler-Segmenten im AD-Wandler. Durch ein zusätzliches niederfrequentes Rauschsignal, dem sogenannten Dithering, kann dieser Effekt verringert werden. Im realen Betrieb des Empfängers sind genügend stochastische Signale vorhanden, die das Dithering ersetzen.

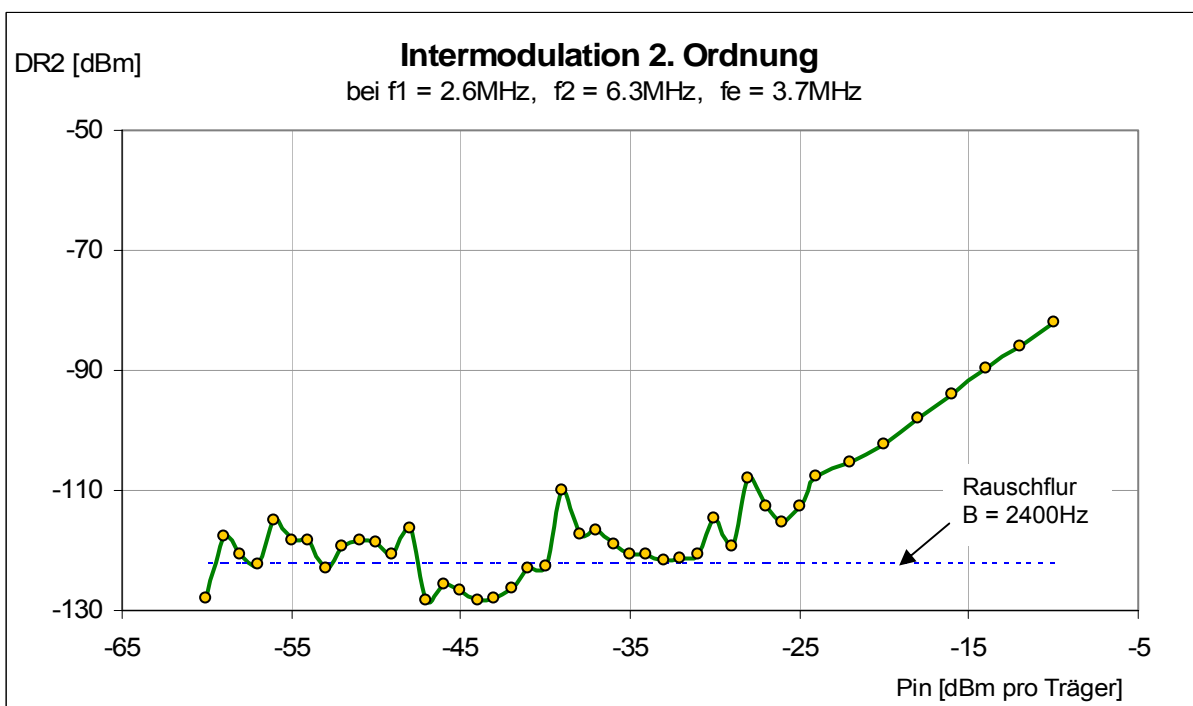


### 1.2.3 Die Interceptpunkte zweiter Ordnung, IP2

Der Intercept-Punkt 2.Ordnung bezieht sich auf Verzerrungsprodukte, die durch die Summe oder Differenz von zwei Frequenzen entstehen. Obschon auch hier die Verzerrungen mehrheitlich im AD-Wandler entstehen, kann der IP2 in hohem Masse durch eine geeignete Vorselektion verringert werden, was beim IP3 nicht der Fall ist.



### 1.2.4 IM2-freier Dynamikbereich



### 1.3 Selektivität der CW-Filter

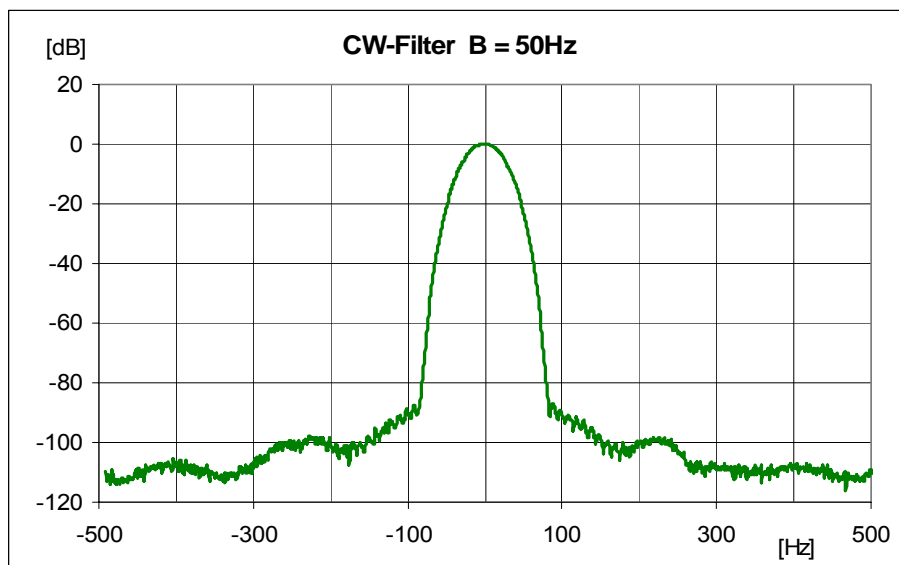
Die CW-Filter sind ab der FW-Version 1.3 neu dimensioniert und wesentlich versteilert worden. Diese Filter haben nun die folgenden Eigenschaften:

B (-6dB) [Hz]	B (-60dB) [Hz]	Shape-Factor [-]	Rauschbandbreite [Hz]	Gruppenlaufzeit [ms]
50	148	2.960	29.1	44
75	171	2.280	51.7	44
100	196	1.960	73.9	44
150	246	1.640	128.6	44
200	392	1.960	158.9	28
300	492	1.640	262.0	28
500	692	1.384	461.5	28
700	892	1.274	667.0	28
1000	1192	1.192	913.6	20
1200	1392	1.160	1118.1	20

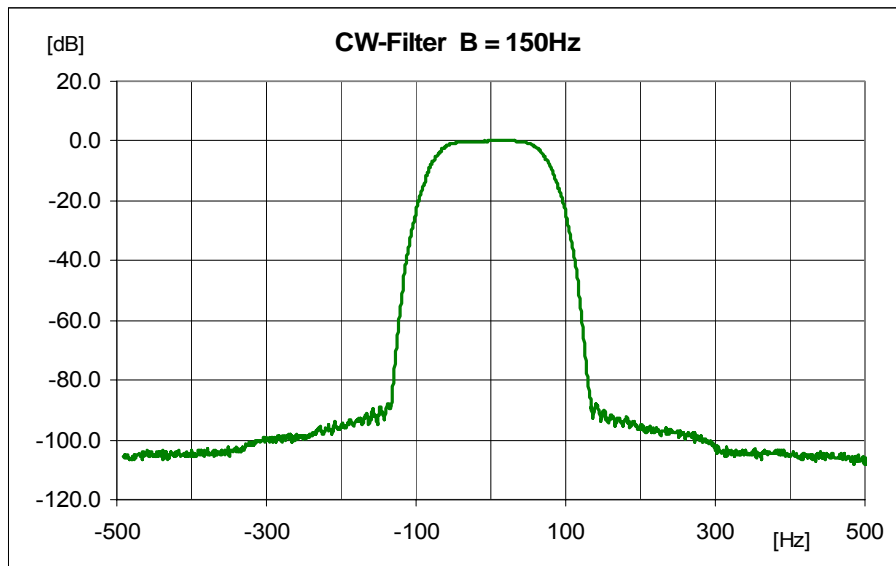
Die Gruppenlaufzeit bezieht sich auf die Signallaufzeit des gesamten Empfängers.

#### 1.3.1 Gemessene Dämpfungscharakteristiken der CW-Filter

Die nachfolgenden Durchlasskurven sind mit Hilfe der im ADT-200A eingebauten SCAN-Funktion gemessen worden. Als Testsignal ist eine rauscharme 10MHz Signalquelle (HP 10544A) verwendet worden. Die Messung ist mit eingeschaltetem Vorverstärker bei einem Eingangssignal von -21dBm ausgeführt worden.



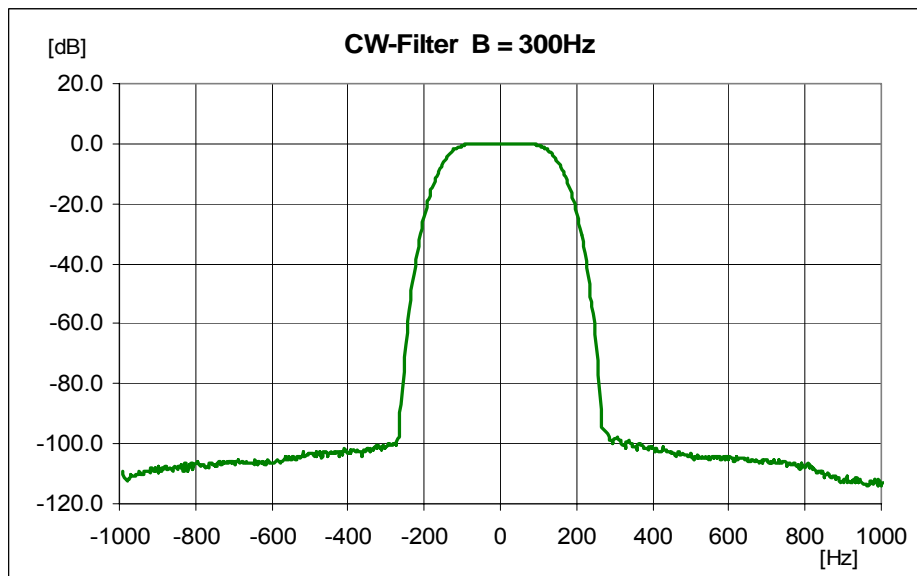




Die Frequenz auf der X-Achse entspricht der Verstimmung gegenüber der eingestellten Trägerfrequenz. Aus diesen Messungen lässt sich das extrem geringe Oszillatorrauschen bei 300 Hz Trägerabstand ermitteln zu:

$$\Gamma_o = -105\text{dB} - 10 \cdot \text{Log}_{10}(B_r) / \text{dB} = -126\text{dBc/Hz} \quad (\Delta f = 300\text{Hz}!)$$

$\Delta f$  ist gemessen vom Träger zum 3dB-Punkt der Filterflanke. Der Beitrag des Seitenbandrauschens von der Signalquelle (HP10544A) ist nicht bekannt. Die den gemessenen Dämpfungswerte im Bereich von  $\Delta f > 400\text{Hz}$  können deshalb noch besser sein.

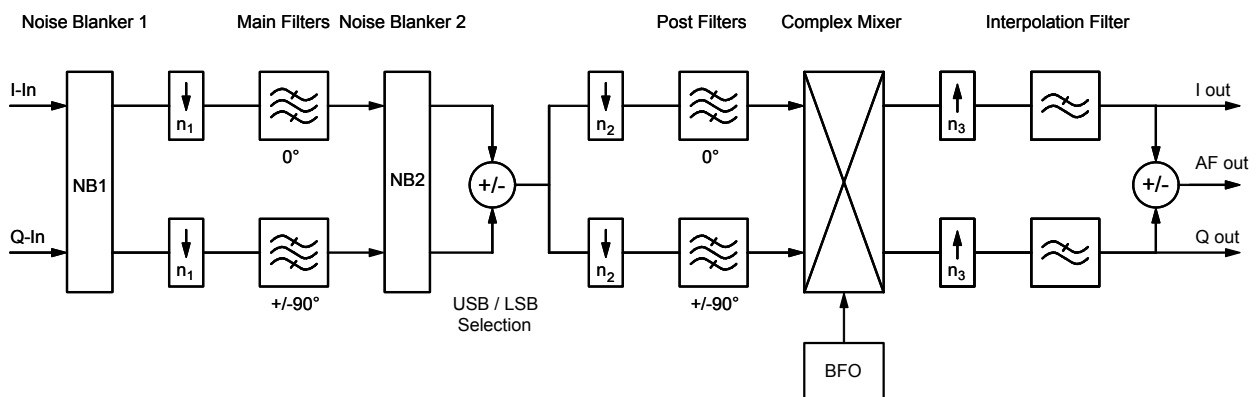


### 1.4 Selektivität der SSB-Filter

Die SSB-Filter sind ab der FW-Version 1.3 neu dimensioniert worden.

B (-6dB) [Hz]	B (-60dB) [Hz]	Shape-Factor [-]	Rauschbandbreite [Hz]	Gruppenlaufzeit [ms]
300	688	2.293	203	20
500	888	1.776	384	20
700	1088	1.554	567	20
1000	1384	1.384	839	20
1200	1588	1.323	1021	20
1500	1884	1.256	1284	20
1800	2186	1.214	1555	20
2000	2386	1.193	1733	20
2200	2584	1.175	1911	20
2400	3168	1.32	2008	12
2700	3472	1.286	2275	12
3000	3776	1.259	2537	12
3500	4272	1.221	2994	12

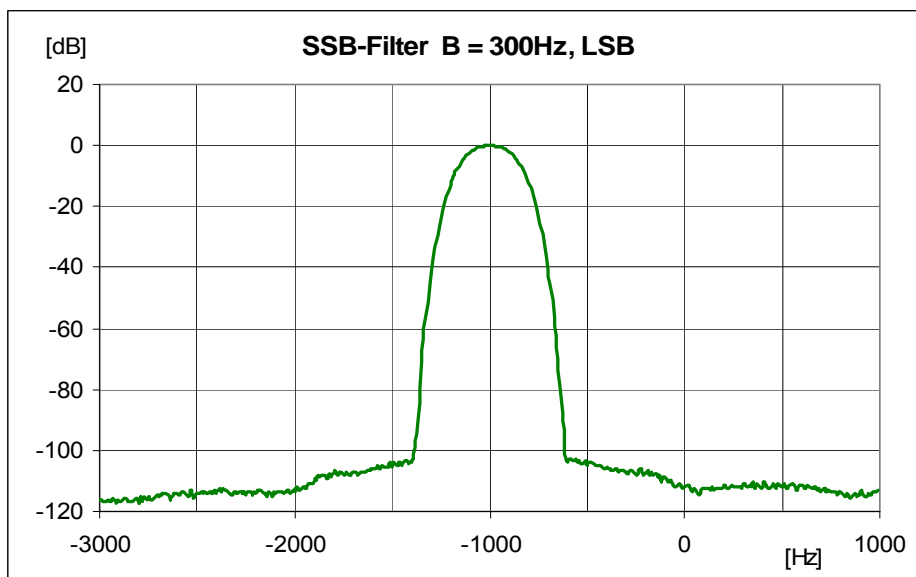
Die Gruppenlaufzeit bezieht sich auf die Signallaufzeit des gesamten Empfängers



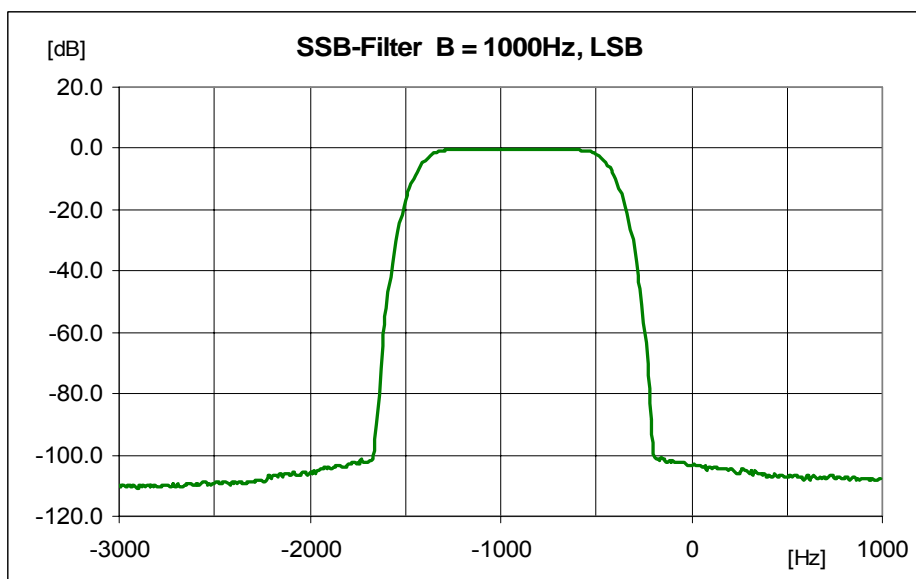
Blockschema der Filterung für CW und SSB

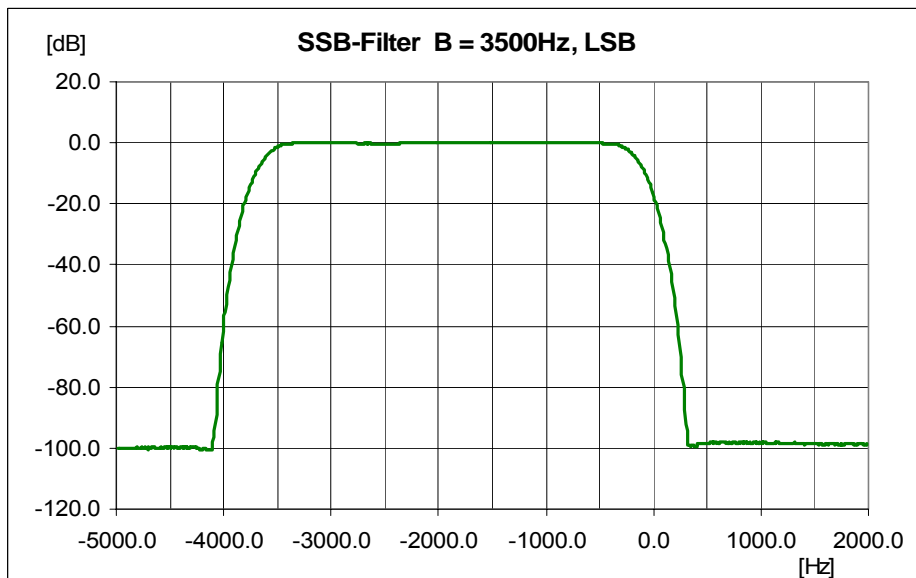
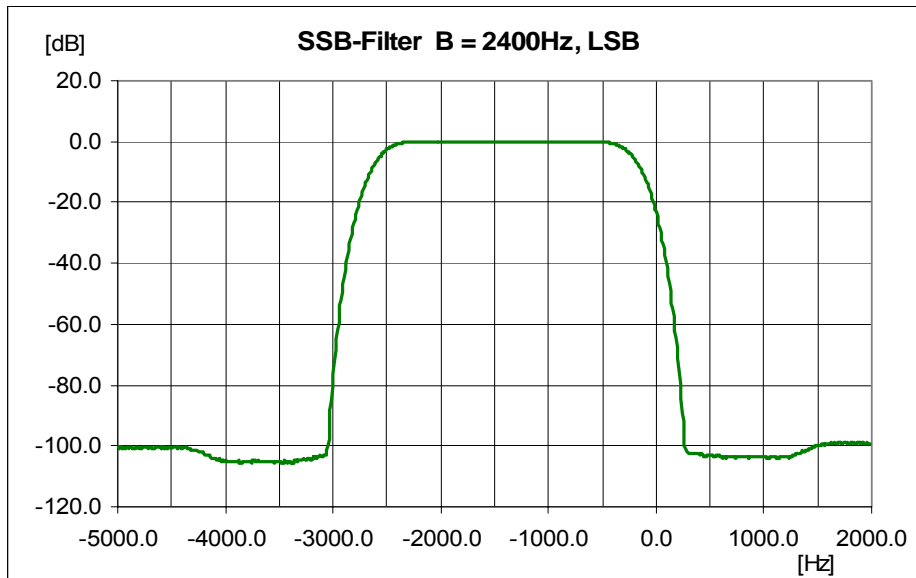
### 1.4.1 Gemessene Dämpfungscharakteristiken der SSB-Filter

Die nachfolgenden Messungen sind mit einem konstanten Eingangssignal von -21dBm ausgeführt worden.

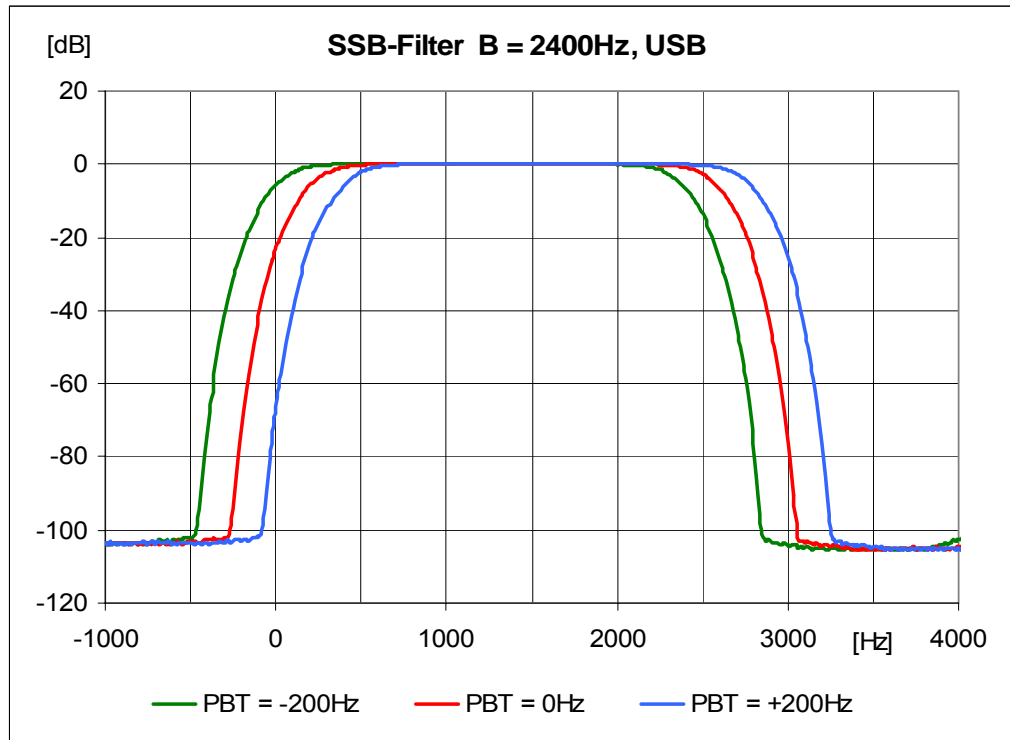


Die Frequenz von 0Hz entspricht der Trägerfrequenz bei LSB-Betrieb.





Die Funktion „Pass Band Tuning“ ist neu hinzu gefügt worden. Damit lässt sich der Durchlassbereich des Filters um verschieben, ohne die Überlagerungsfrequenz (Pitch) zu verändern. Im nachfolgenden Diagramm sind die Durchlasskurven von demselben Filter bei drei verschiedenen PBT-Einstellungen aufgenommen worden:



Durch die PBT-Funktion können die Eckfrequenzen des Empfangskanals verändert und damit dem bevorzugten Klangbild angepasst werden. Die Stellung -200Hz kann beim Empfang von AM-Stationen im Mode SSB dazu benutzt werden, den AM-Träger in den Durchlassbereich des SSB-Filters zu bringen, um zu verhindern, dass die AGC in den Modulationspausen aufregelt.

### 1.5 Eigenschaften des AM-Demodulators

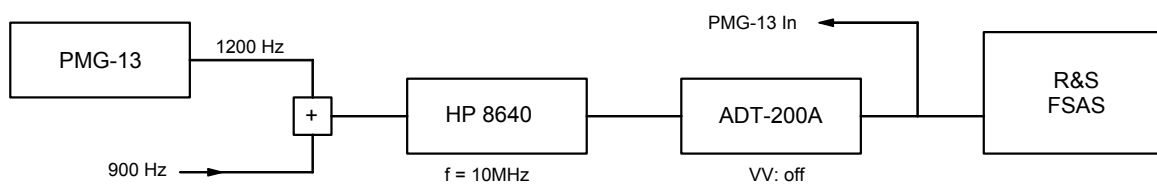
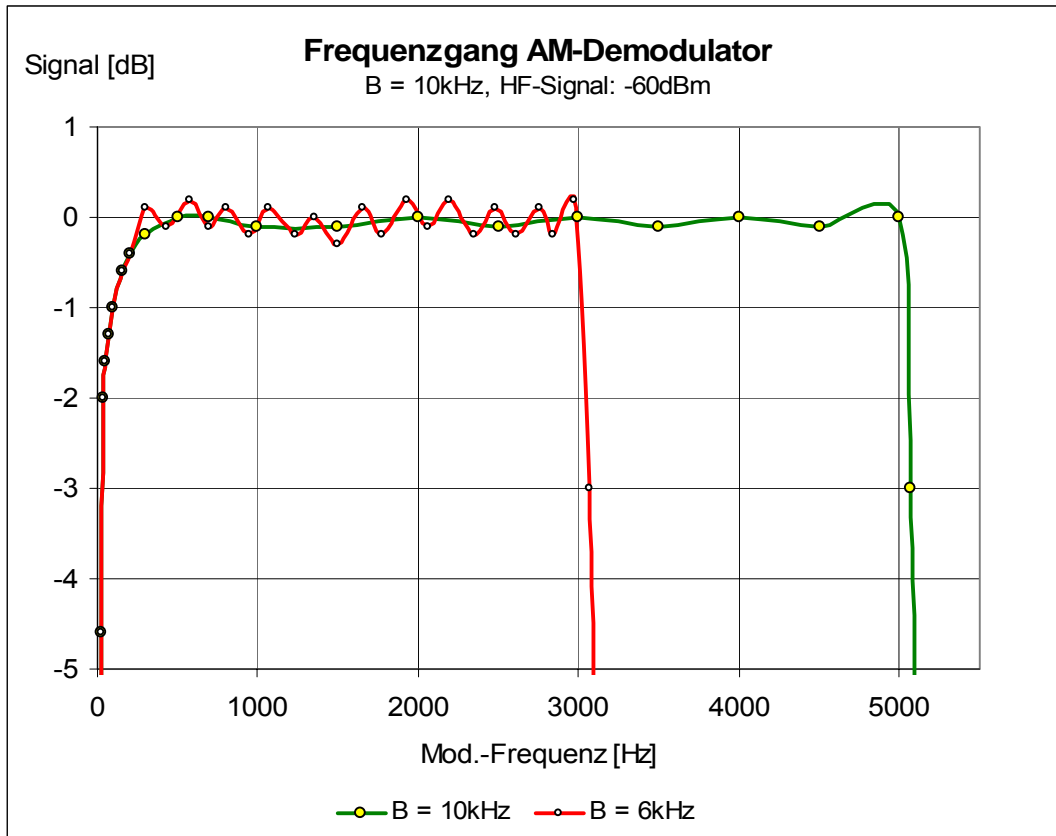
Die Eigenschaften vom AM-Demodulator sind gemessen worden bei den folgenden Einstellungen:

- Frequenz = 10MHz, Stellung AM, Modulationsgrad  $M = 80\%$
- Bandbreite  $B = 9\text{kHz}$
- AGC-Schwelle  $-100\text{dBm}$
- Vorverstärker und Attenuator: off

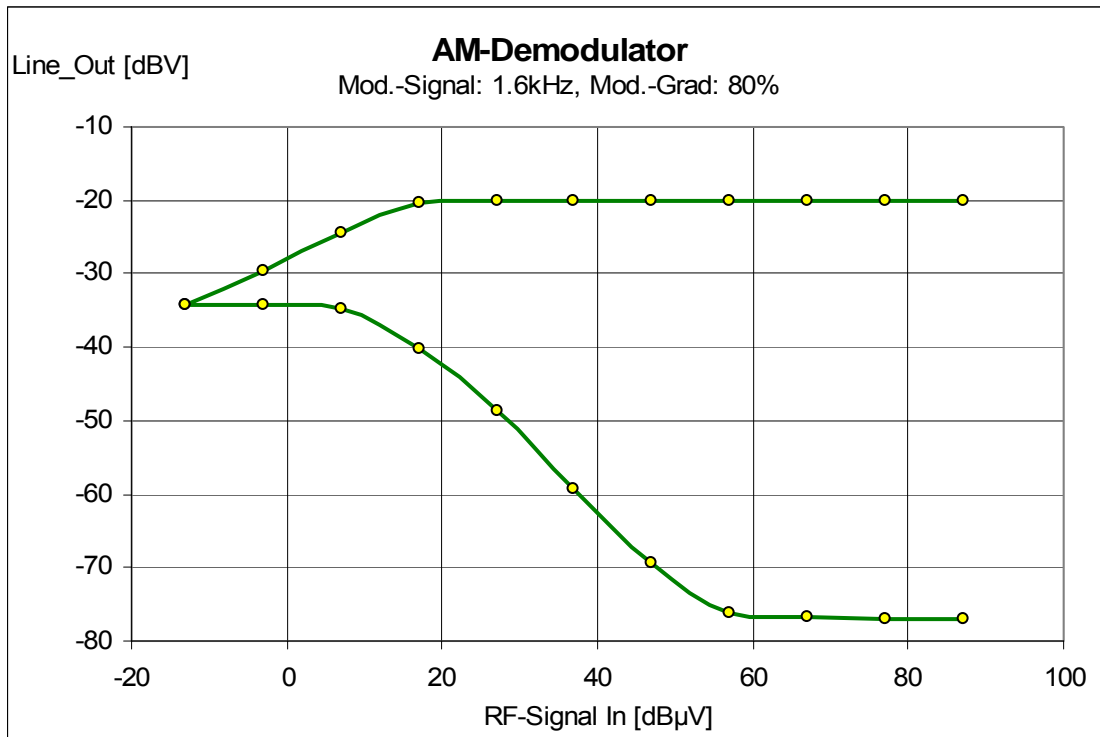
Verwendete Messgeräte:

- Pegelmesser W&G, PMG-13
- Audio-Analyzer HP 8903A
- Messsender HP 8640B
- Spectrum Analyzer R&S FSAS

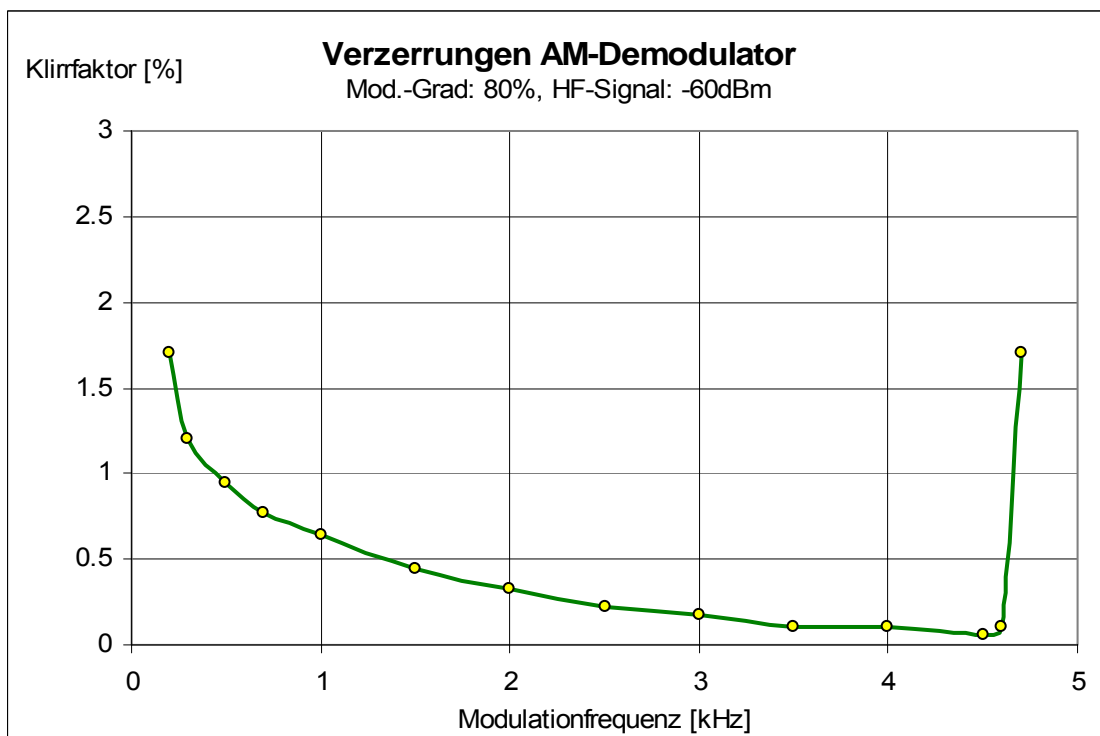
## 1.5.1 Frequenzgang des AM-Demodulators



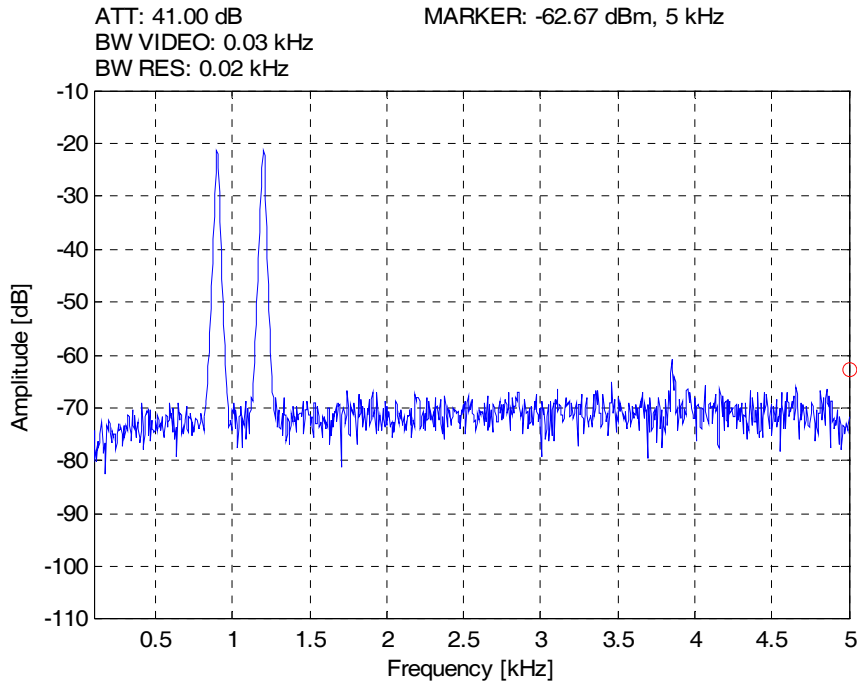
Für die Messungen des AM-Demodulators verwendeter Messaufbau



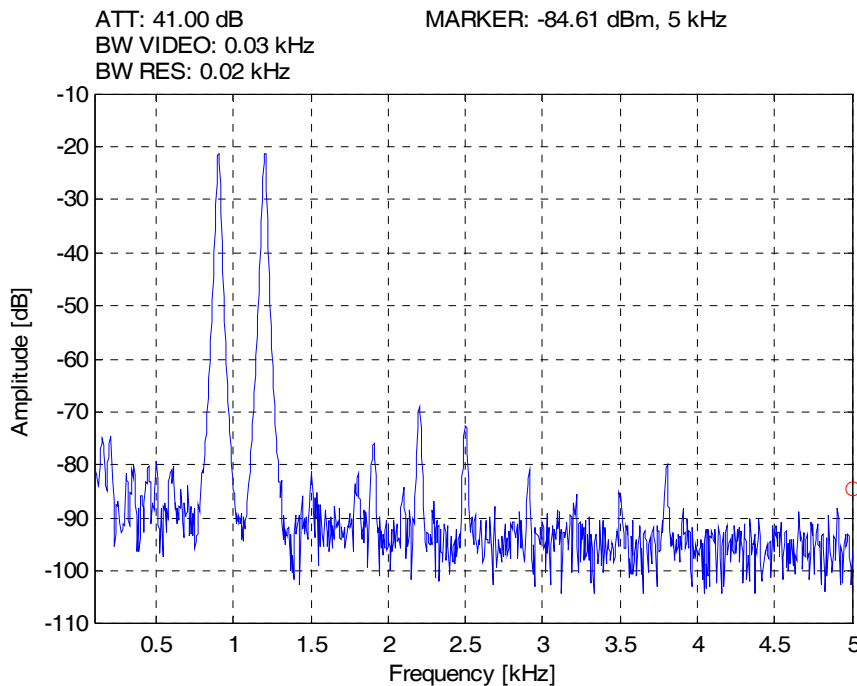
- Empfindlichkeit für 12dB SINAD: 1.8μV (-102dBm) ohne Vorverst  
0.57μV (-112dBm) mit 10dB Vorverst.
- Störabstand bei Ue = -60dBm 57dB



### 1.5.2 Inband Intermodulation

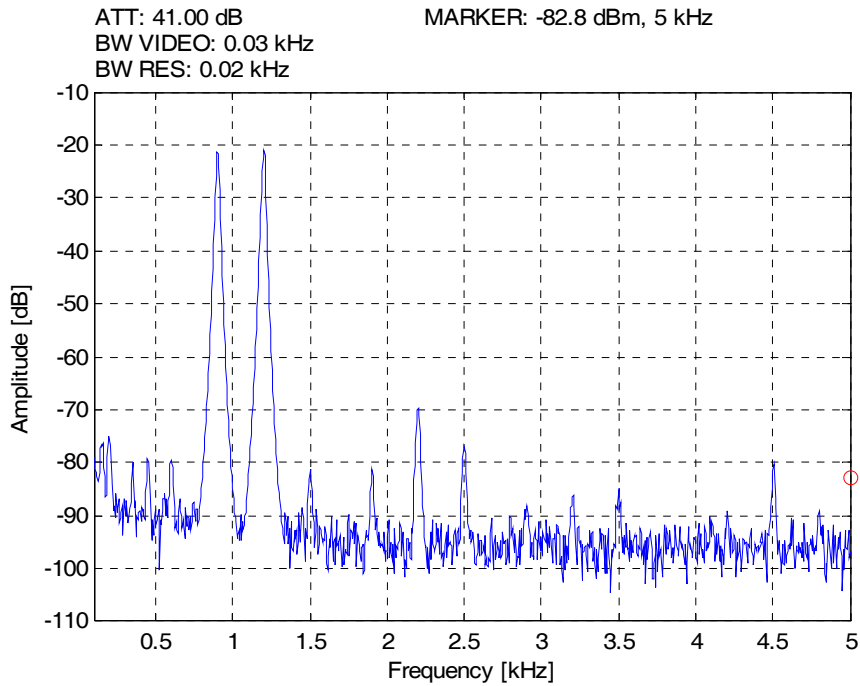


Eingangssignal: -80dBm,  $f_1 = 900\text{Hz}$ ,  $f_2 = 1200\text{Hz}$ ,  $M = 60\%$



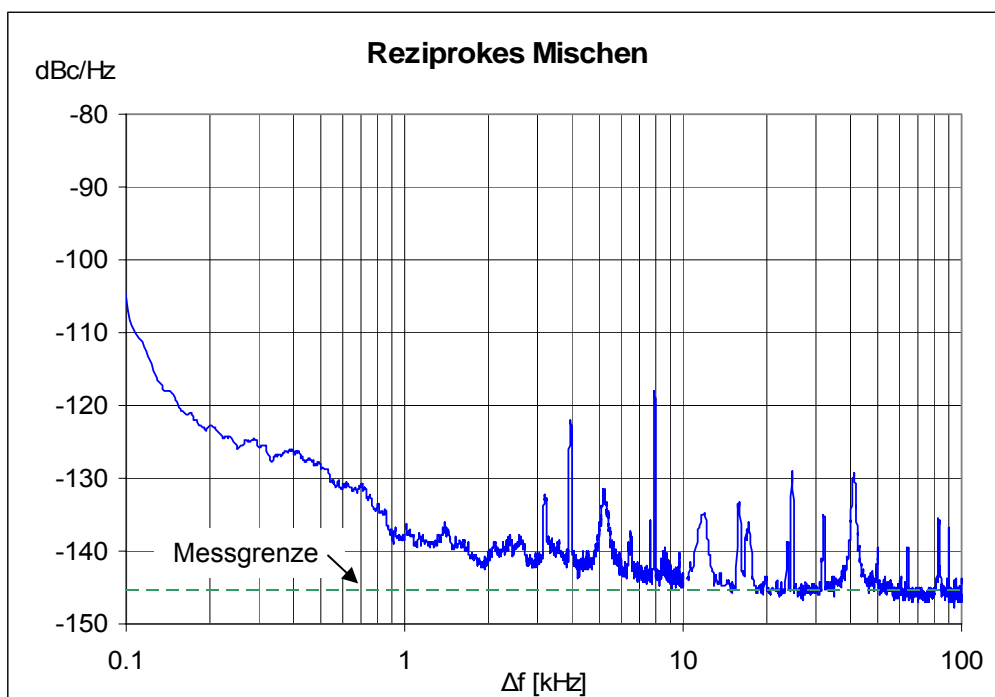
Eingangssignal: -50dBm





Eingangssignal: -20dBm

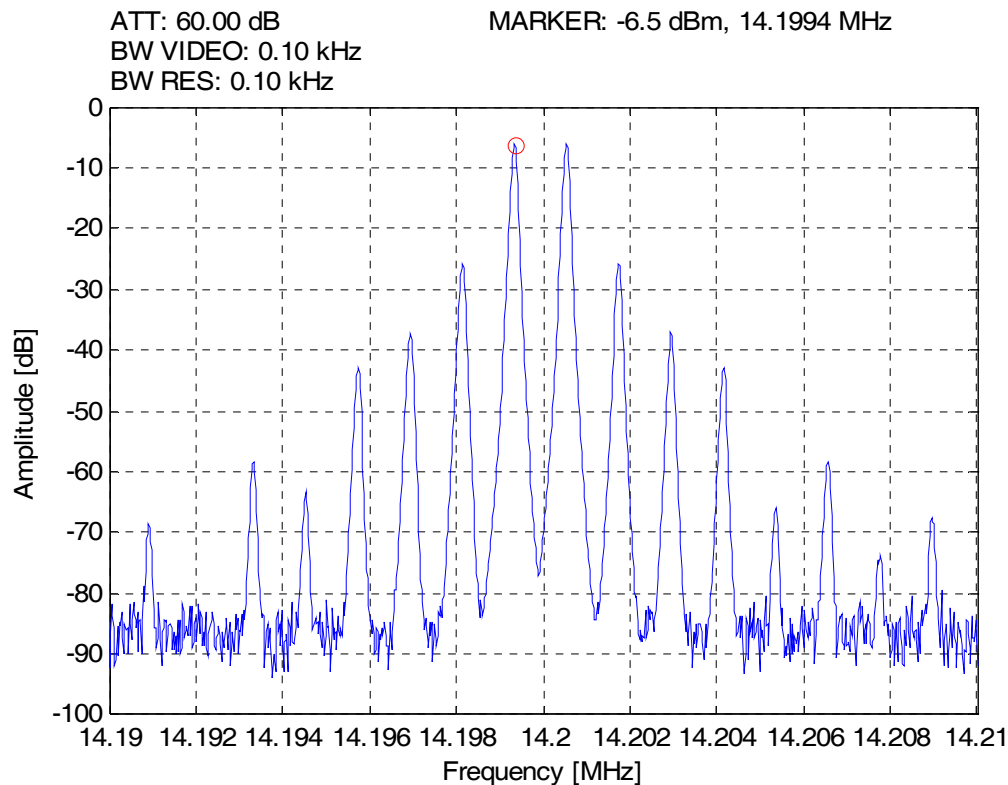
### 1.6 Reziprokes Mischen



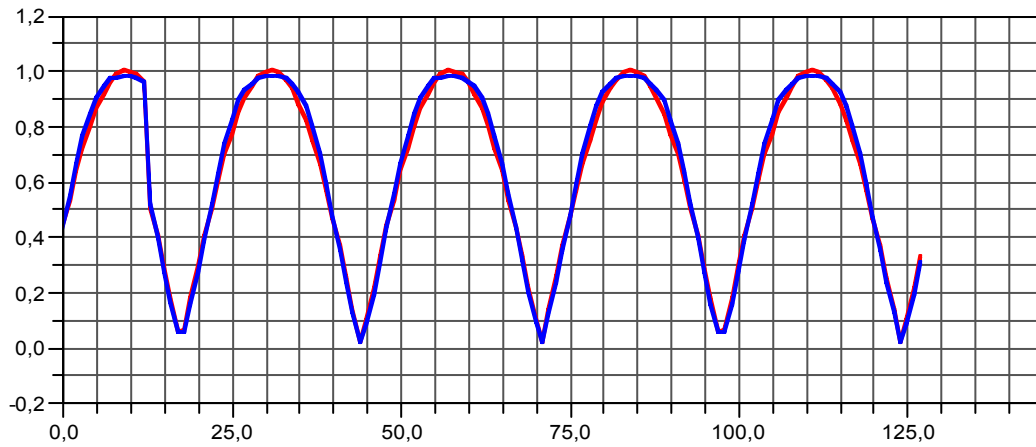
## 2 Messungen am Tx\_Modul

### 2.1 Die adaptive Predistortion

Der Betrieb der Endstufe mit einem hohen Wirkungsgrad bedingt eine hohe Aussteuerung, verbunden mit einem geringen Ruhestrom (nahe B-Betrieb). Ohne Gegenmassnahmen entstehen dadurch unzulässig hohe Intermodulations-Verzerrungen, wie die folgende Abbildung zeigt:

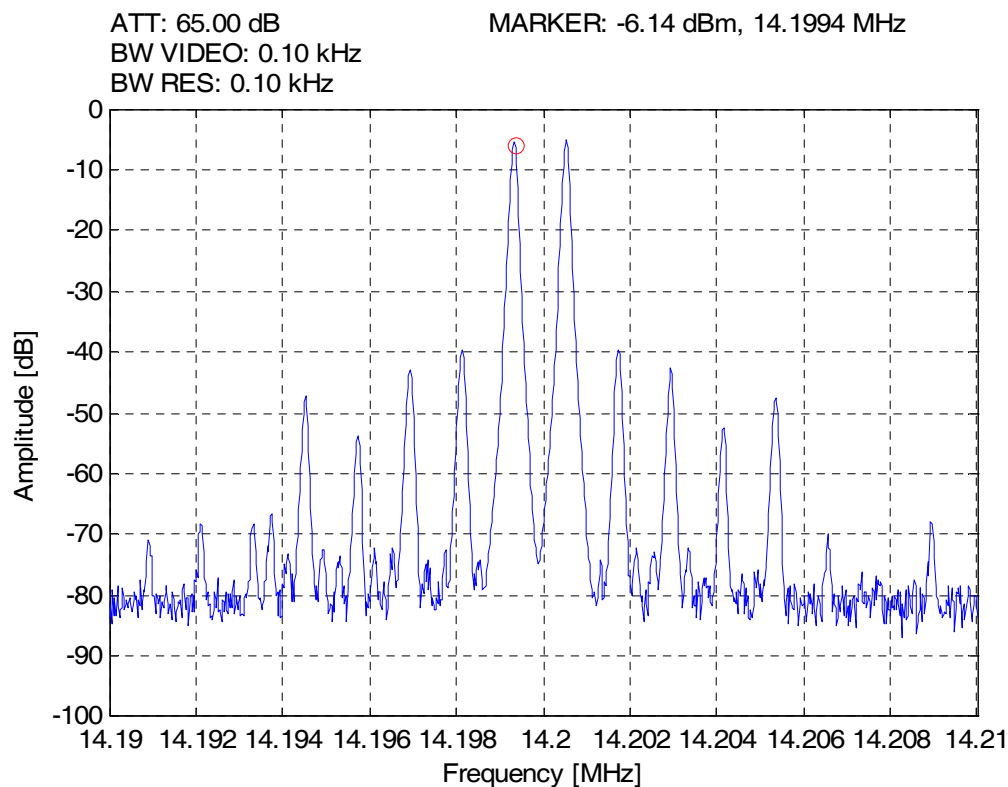


Im Vergleich der unverzerrten Envelope mit der aus dem Sendesignal zurückgewonnenen zeigt deutliche Nichtlinearitäten:

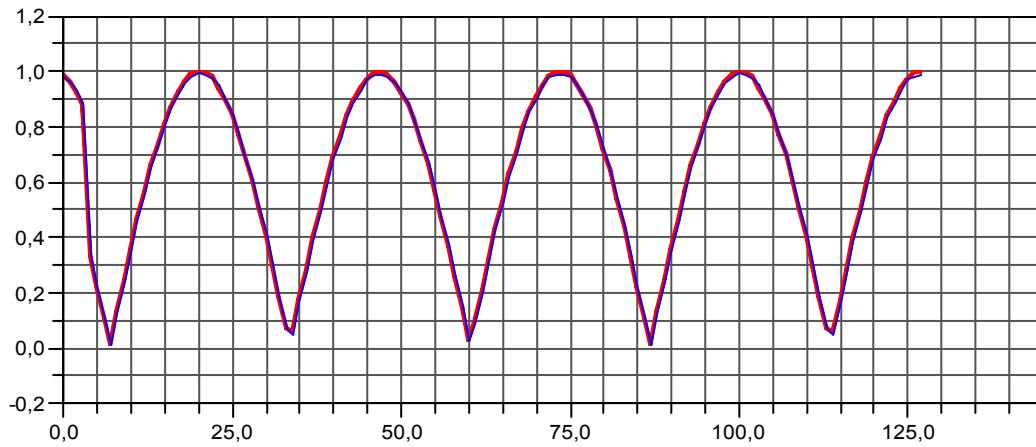


rot: unverzerrtes, blau: zurückgewonnenes Sendesignal

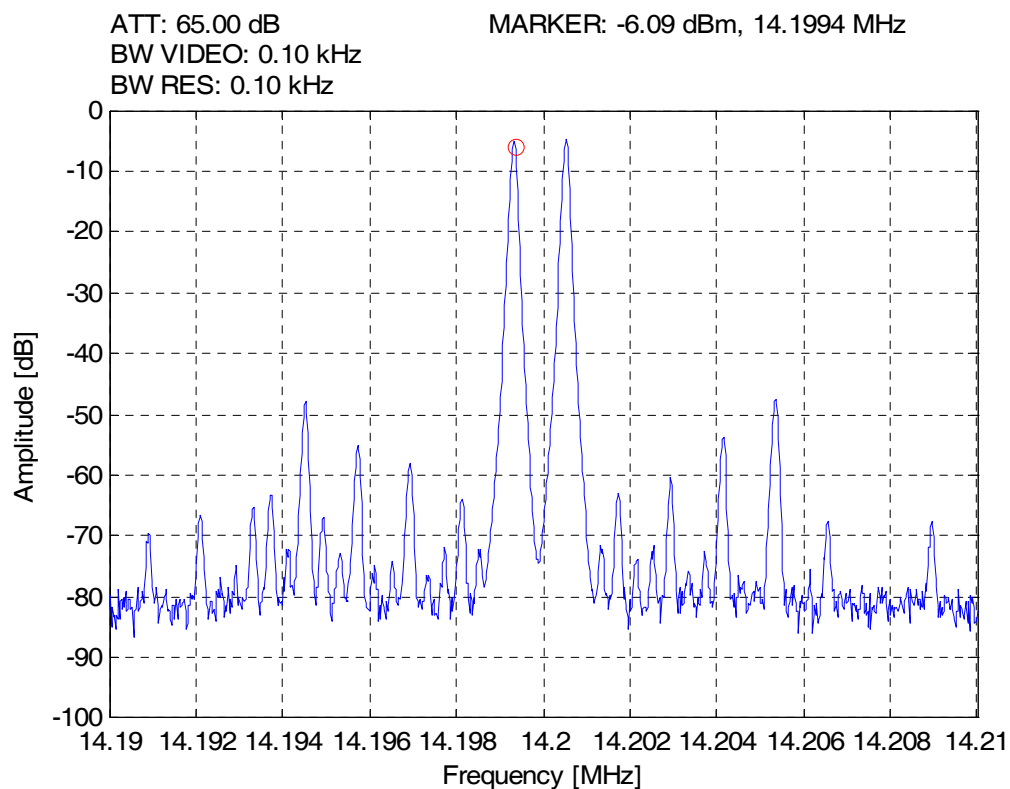
Mit Hilfe der adaptiven Predistortion werden vorerst die AM-AM-Verzerrungen eliminiert. Daraus entsteht bei gleicher Sendeleistung wie oben das folgende Spektrum:



Im Vergleich der Envelopen (rot: Soll, blau Ist) sind keine Abweichungen sichtbar. Dennoch sind die IM3- und die IM5-Produkte recht hoch (Stand FW-Version 1.01i):

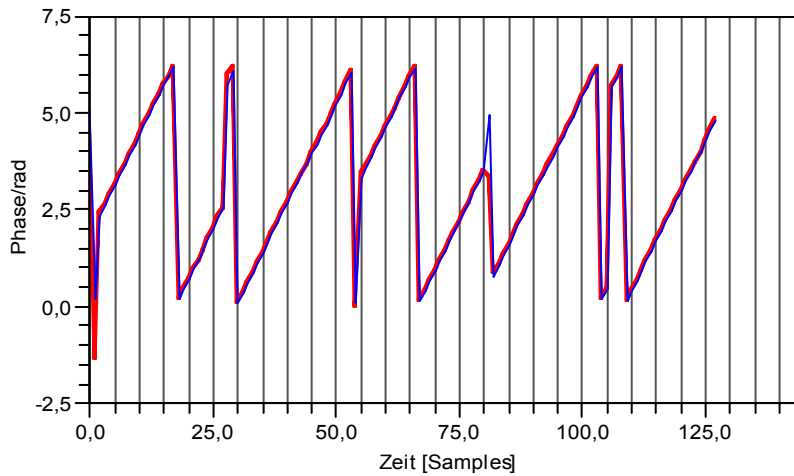


Eine Verbesserung des IM-Abstandes kann durch die zusätzliche Korrektur der AM-PM-Verzerrungen erreicht werden:



2-Ton Modulation: Pout = 48Wpep, f1 = 700Hz, f2 = 1700Hz

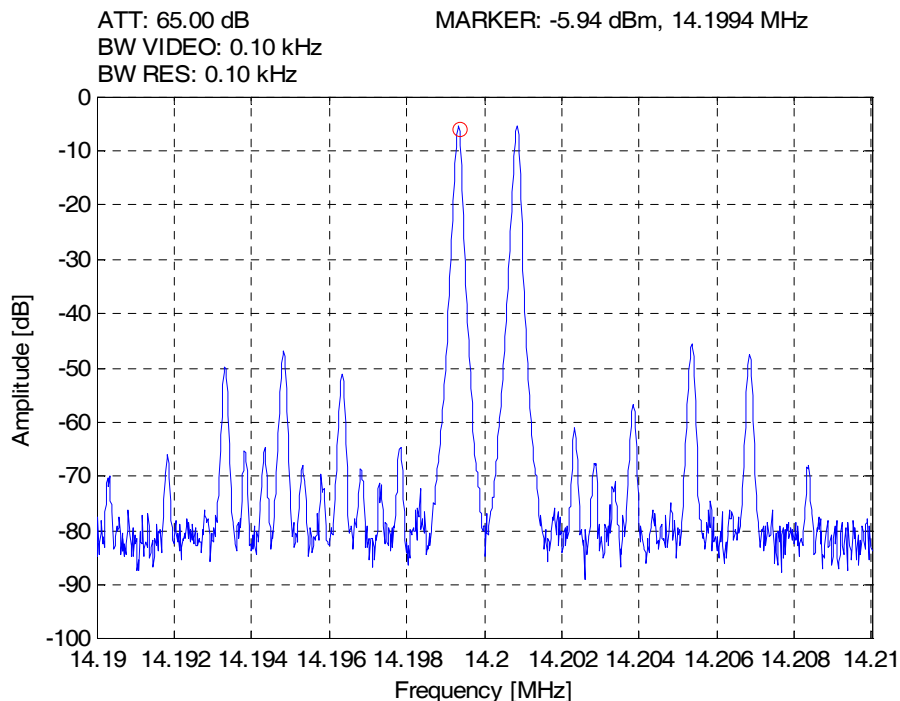
Das nachfolgende Diagramm zeigt den Vergleich zwischen dem Phasenverlauf des unverzerrten (rot) mit dem zurückgewonnenen (blau) im Basisband:



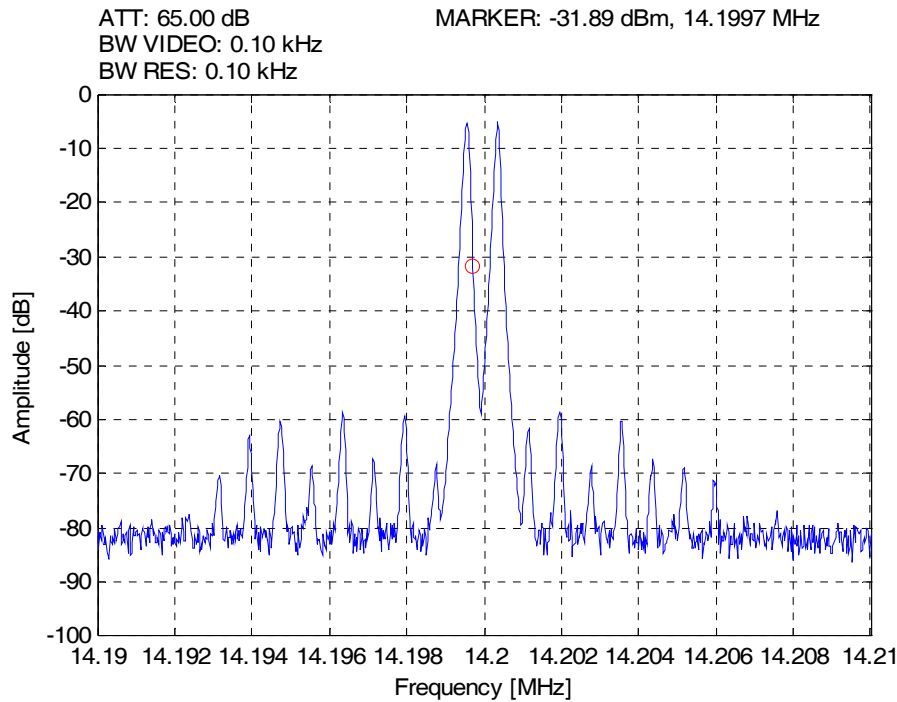
Die IM3- und IM5-Produkte sind nun deutlich abgeschwächt, währenddem das IM9-Produkt angestiegen ist. Dies rührt daher, dass dieses sich frequenzmässig auf der Flanke des PD-Postfilters befindet, das seinerseits eine Phasenverzerrung hervorruft. Der Versuch mit einer grösseren Bandbreite verschiebt das Problem gegen IM-Produkte höherer Ordnung.

-> die IM9-Produkte nehmen bei der Reduktion der Sendeleistung von 1dB um 9dB ab!

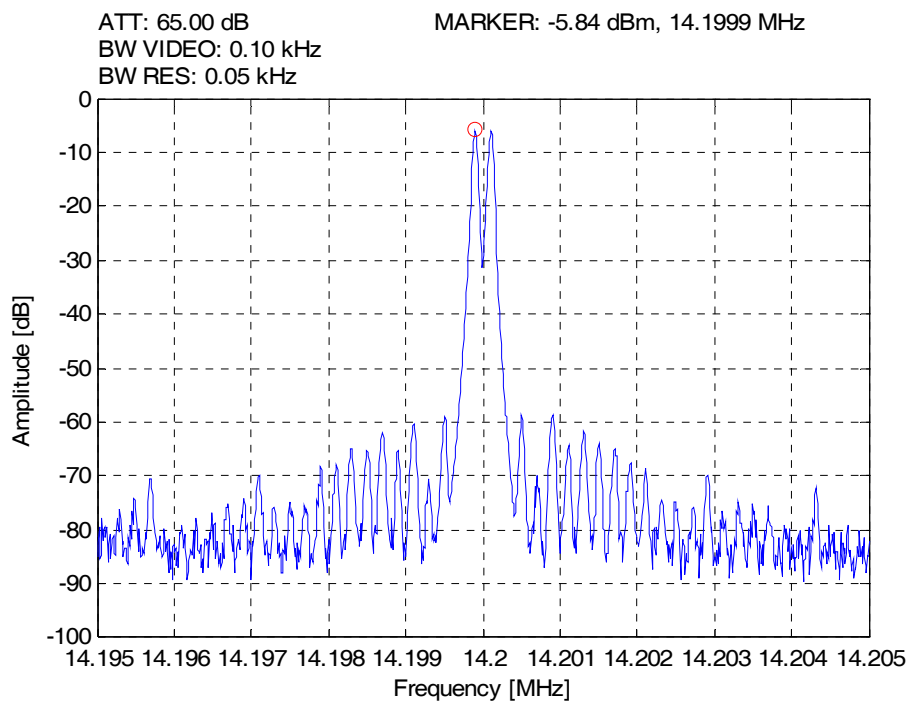
### 2.1.1 Wirksamkeit der Predistortion bei verschiedenen Modulationsfrequenzen



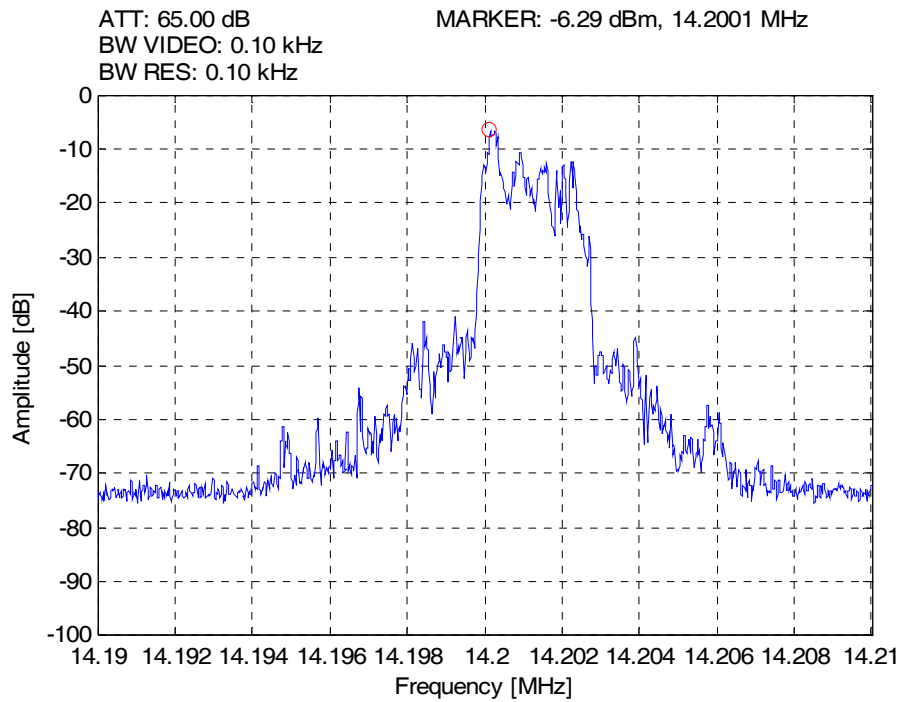
2-Ton Modulation: Pout = 48Wpep, f1 = 500Hz, f2 = 2200Hz



2-Ton Modulation: Pout = 48Wpep, f1 = 700Hz, f2 = 1500Hz

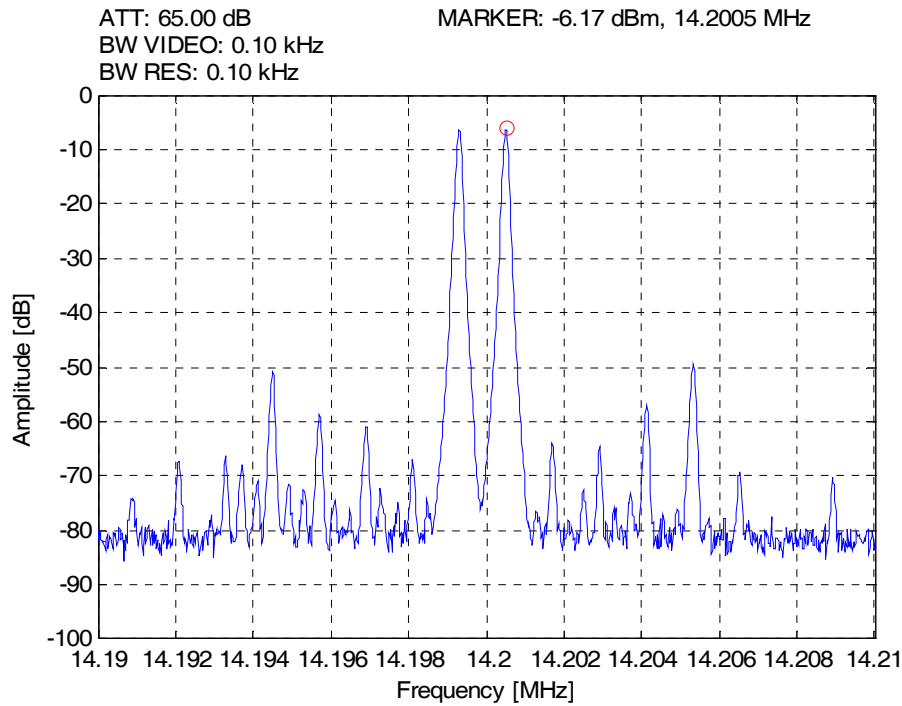


2-Ton Modulation: Pout = 48Wpep, f1 = 900Hz, f2 = 1100Hz (Span = 10kHz)

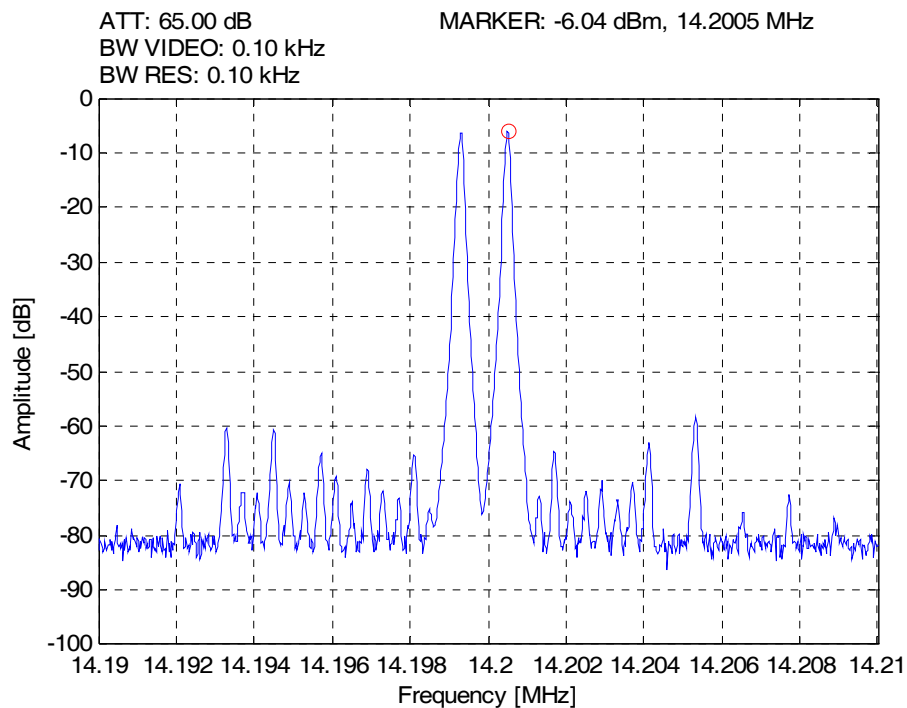


Peak Hold Spektrum von Sprachsignal (BBC-London), aufgenommen während 10Min bei Pout = 50Wpep.

### 2.1.2 Sendespektren als Funktion der Sendeleistung

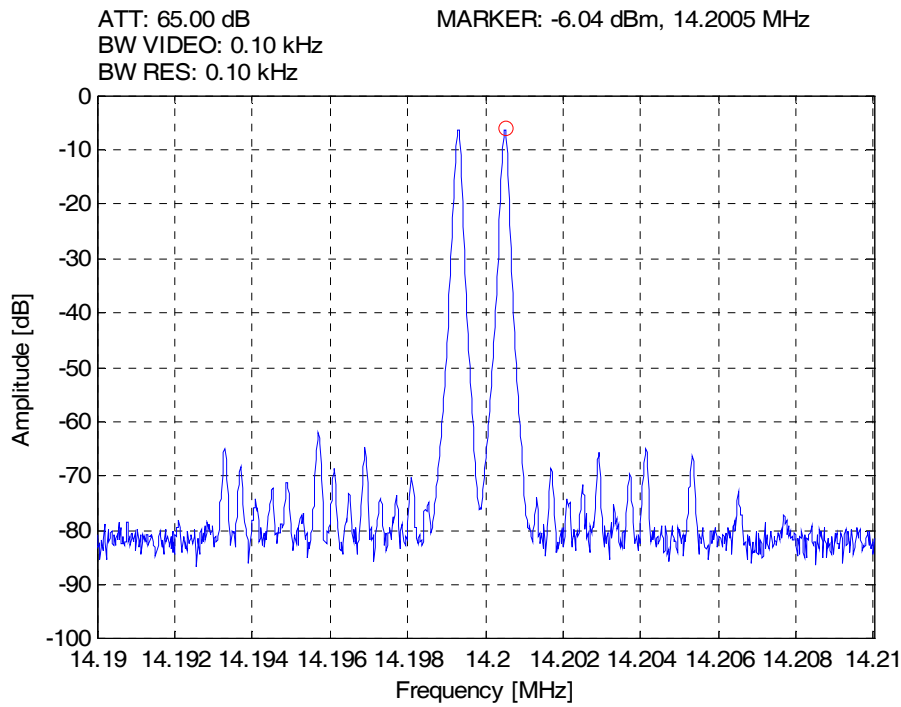


**Pout = 48Wpep**

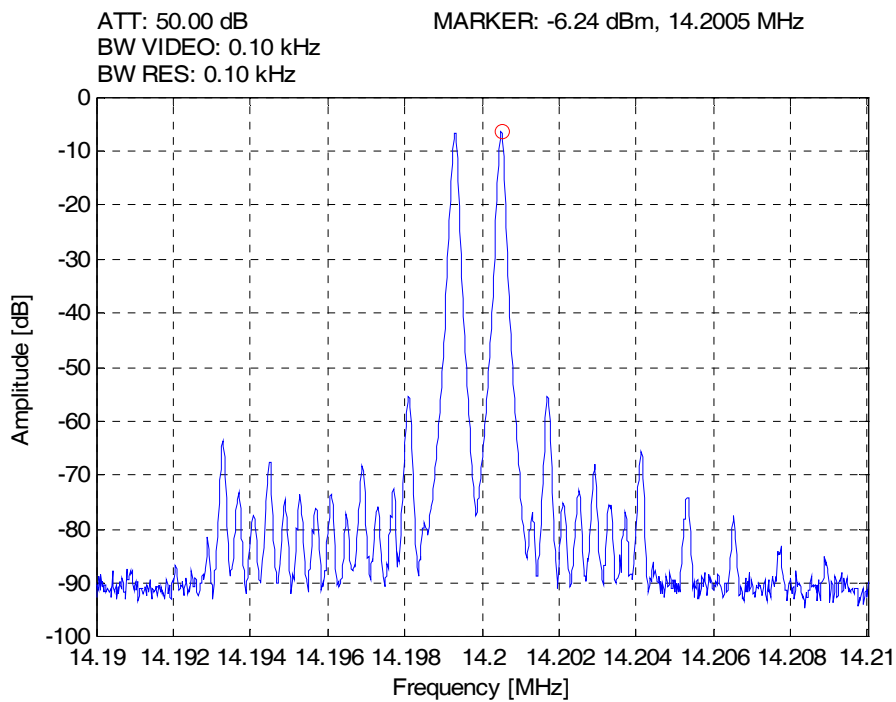


**P = 40Wpep**

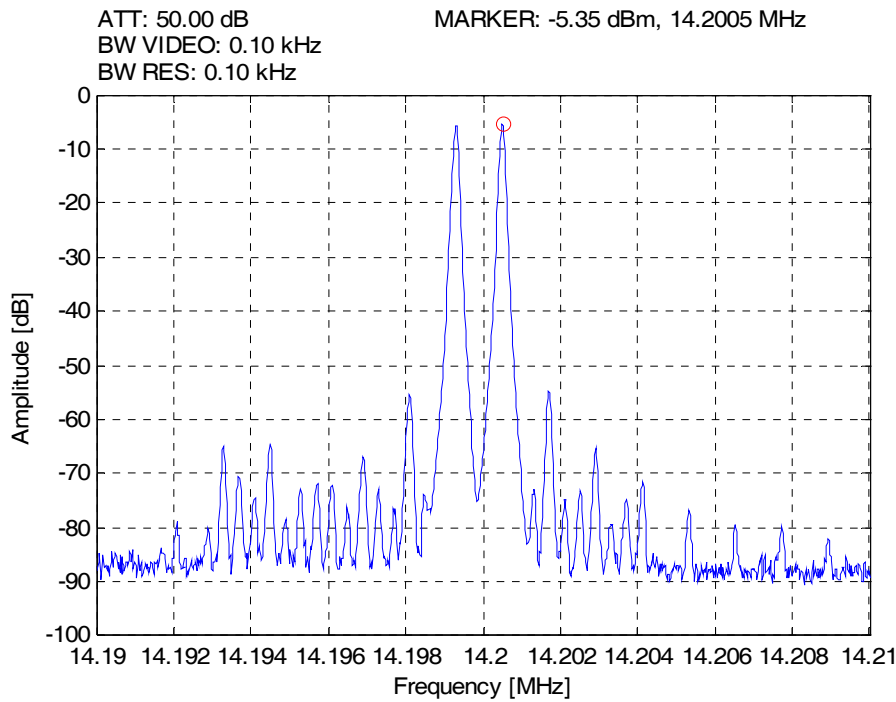




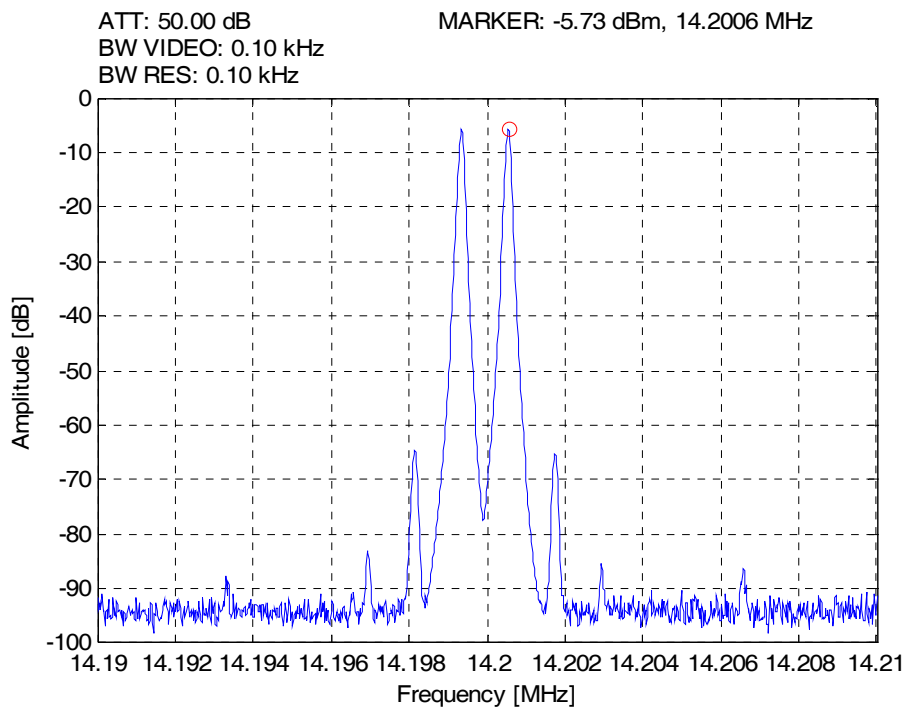
**Pout = 20Wpep**



**Pout = 10Wpep**

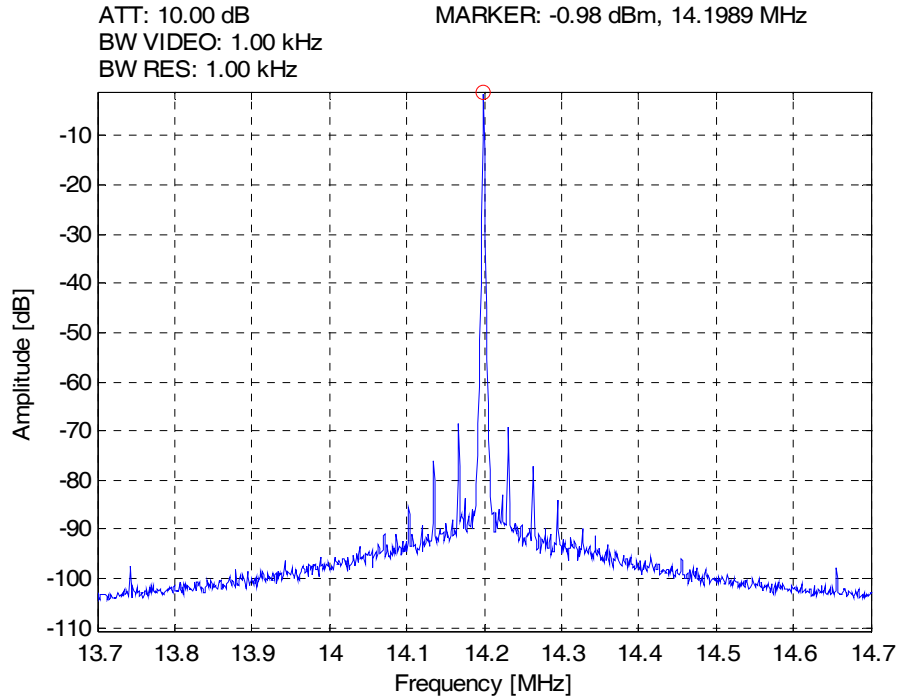


**Pout = 1Wpep**

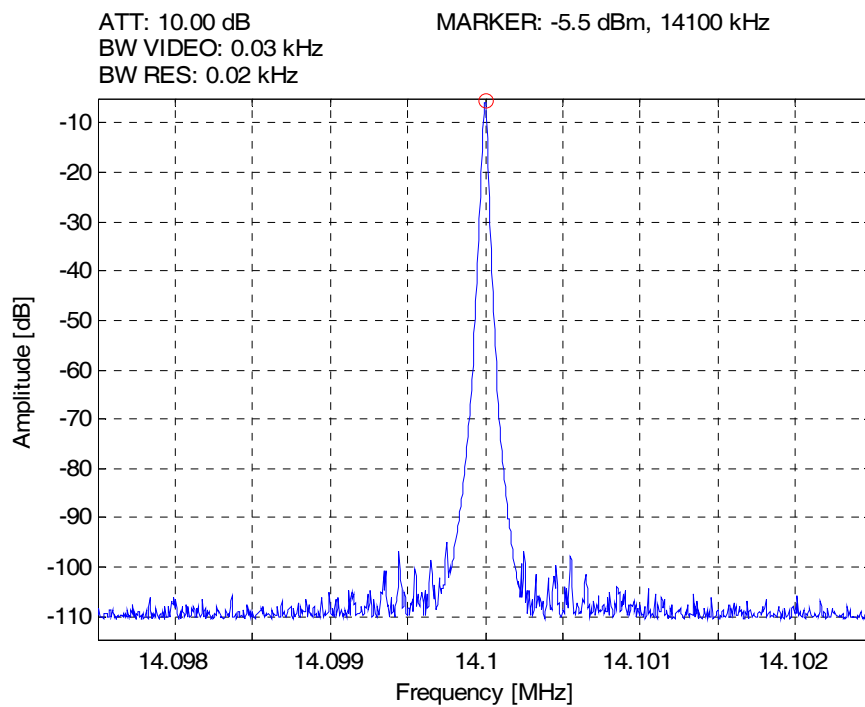


Ausgangsspektrum vom Driver, Pout = +3dBm, verwendbar für Transverter oder Netzwerkanalyse

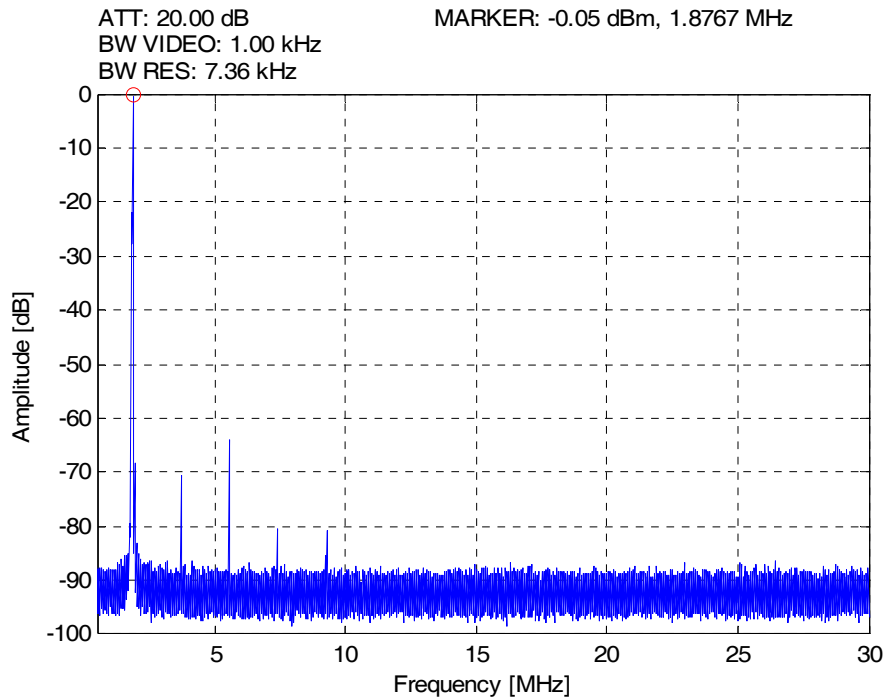
### 2.2 Neben- und Oberwellen



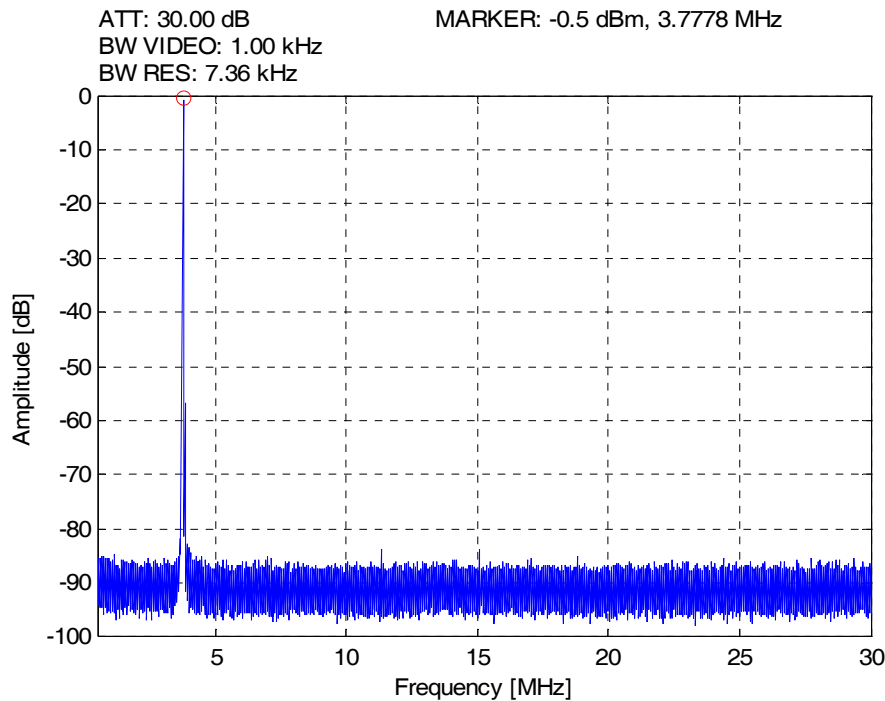
Nebenwellen bei  $f_0 \pm 500\text{kHz}$  bei  $P_{out} = 48\text{W}$



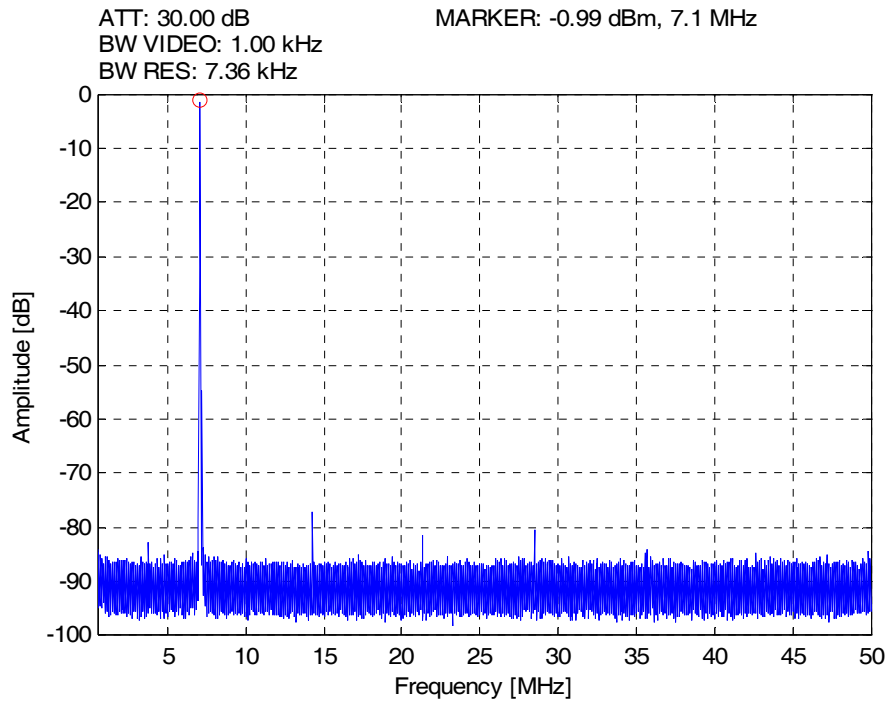
Nebenwellen bei  $f_0 \pm 2.5\text{kHz}$  bei  $P_{out} = 48\text{W}$



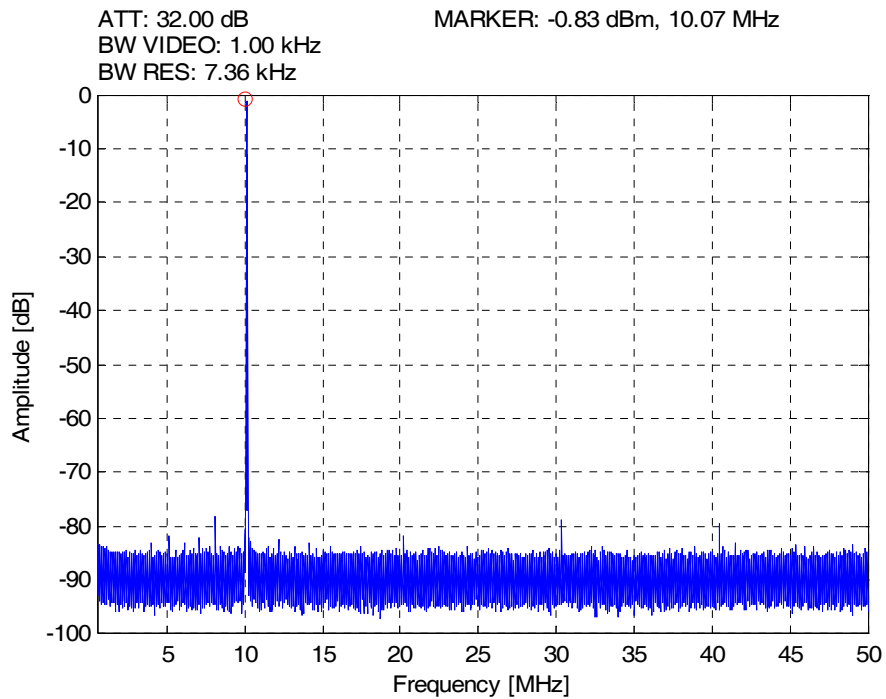
Oberwellenspektrum bei 160m (Bemerkung: die Harmonischen entstehen im Antennenschalter)



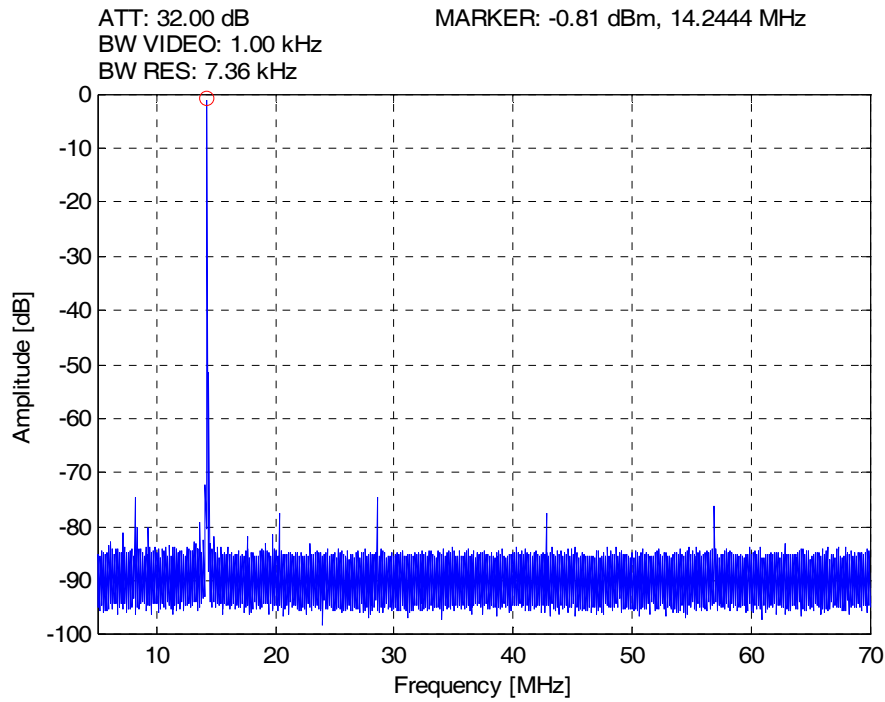
Oberwellenspektrum bei 80m



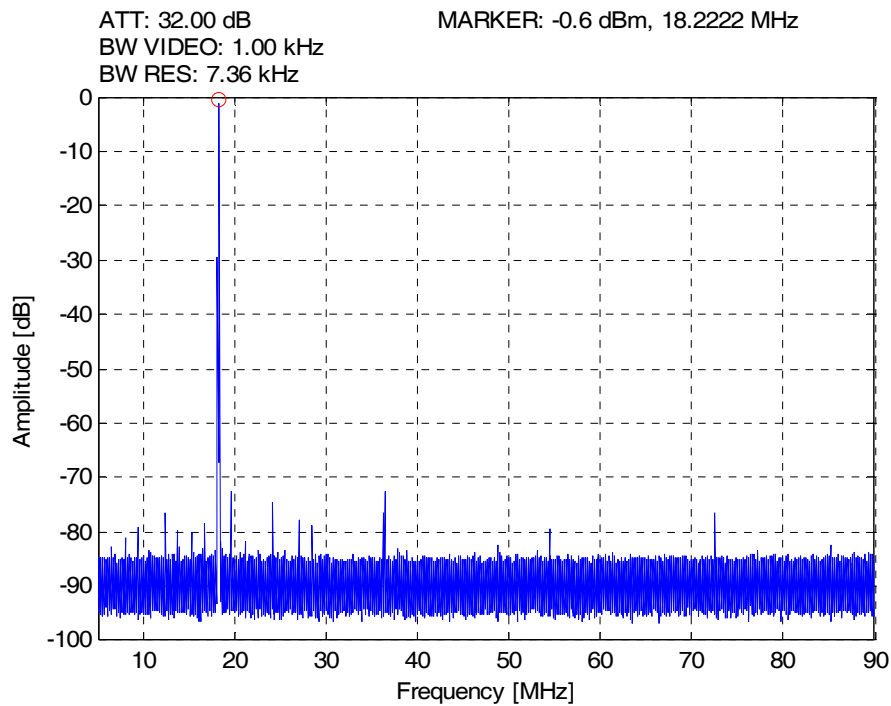
Oberwellenspektrum bei 40m



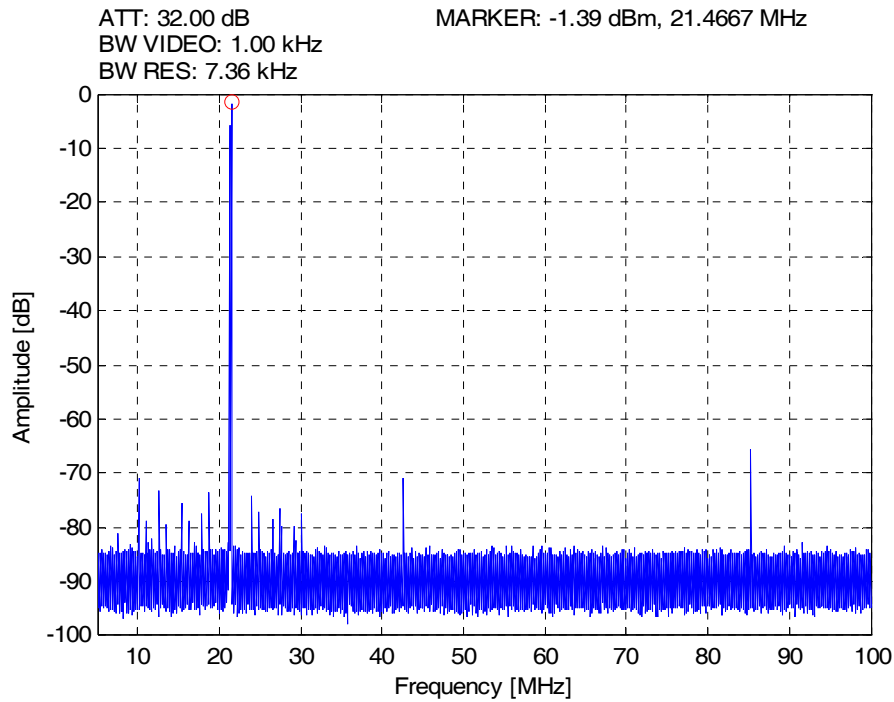
Oberwellenspektrum bei 30m



Oberwellenspektrum bei 20m

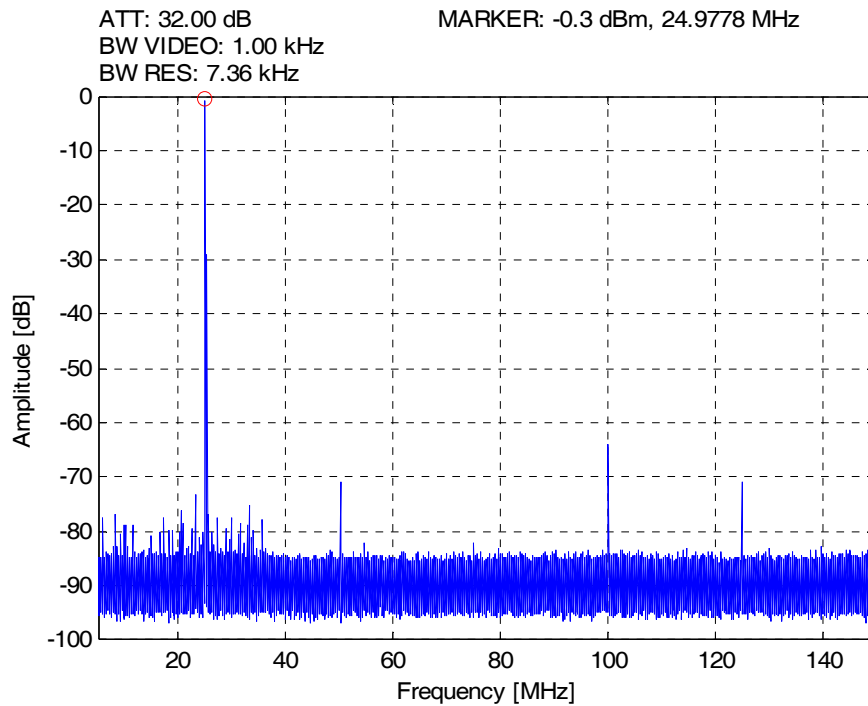


Oberwellenspektrum bei 17m

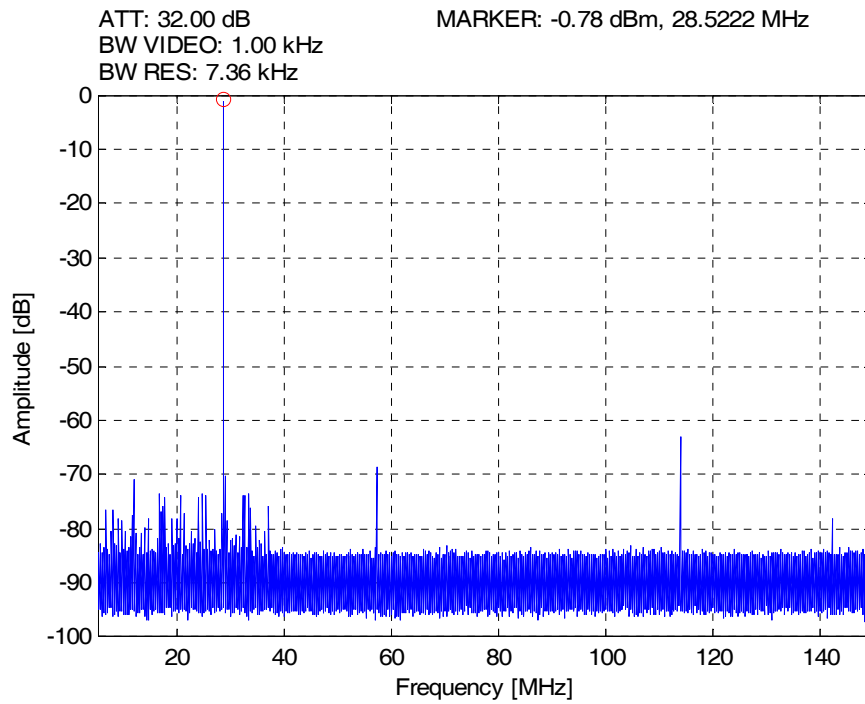


Oberwellenspektrum bei 15m

Bemerkung: die Nebenwellen im Bereich von 10...30MHz stammen vom TxDAC (AD9754) und liegen innerhalb dessen Spezifikation



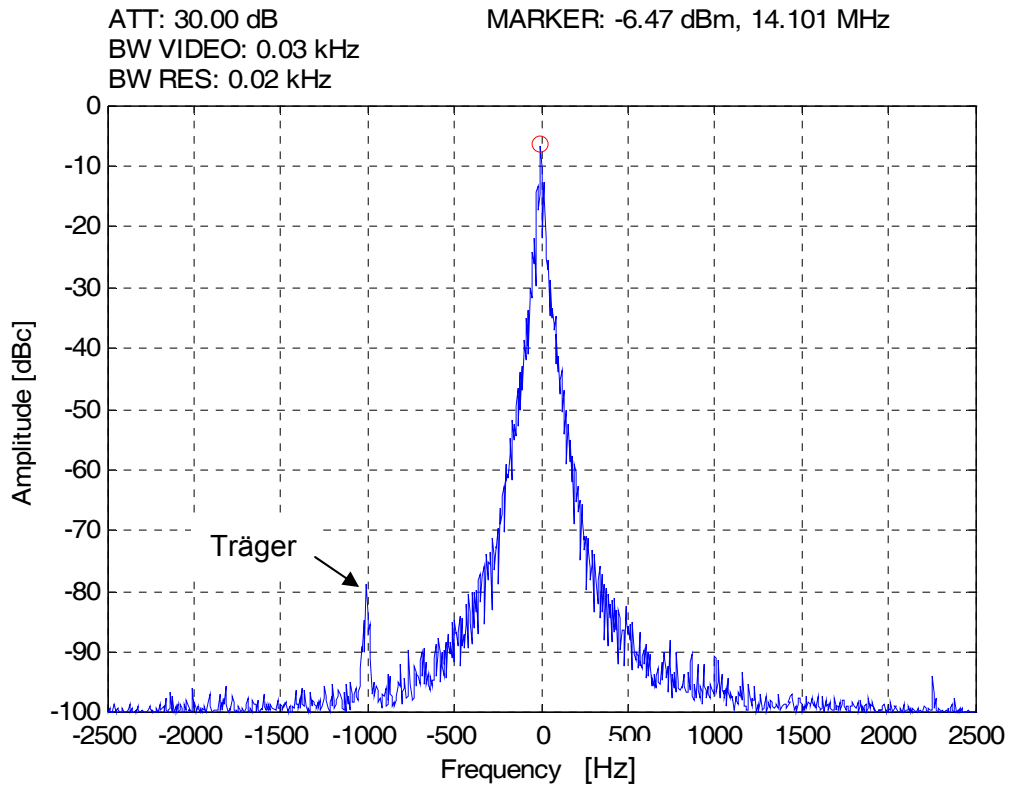
Oberwellenspektrum bei 12m



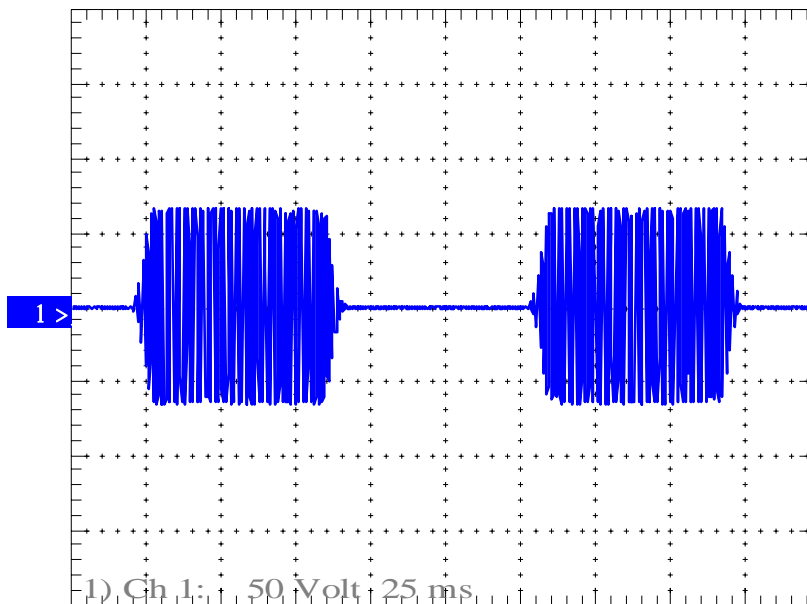
Oberwellenspektrum bei 10m

### 2.3 Spektrum CW-Keyer

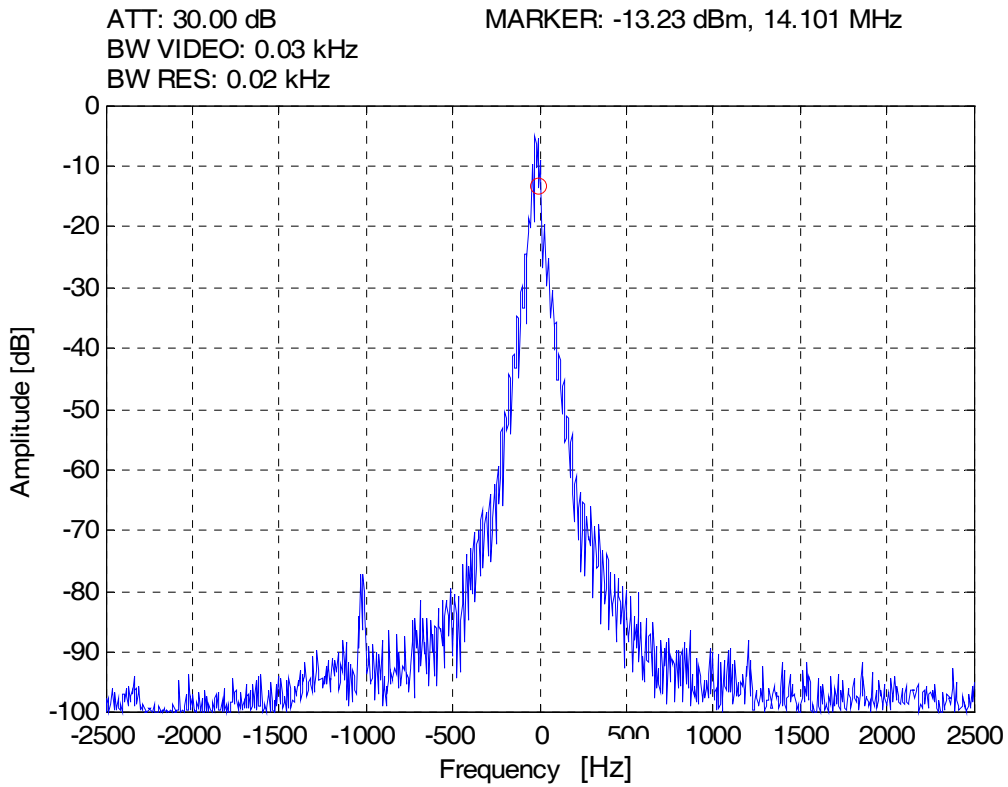




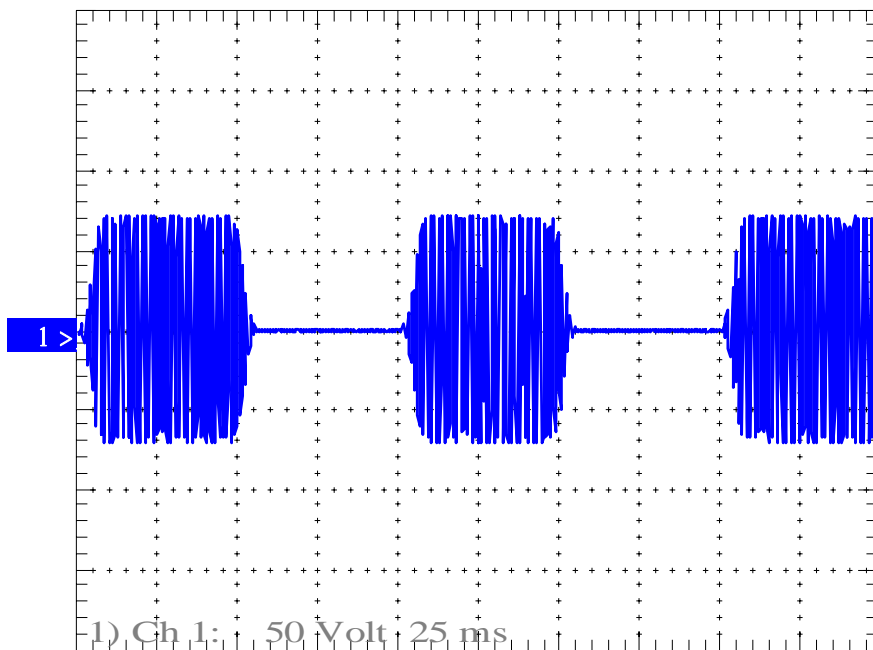
Spektrum CW-Keyer bei Tempo 80 (16WpM)



Sendsignal bei Tempo 80 (16WpM)

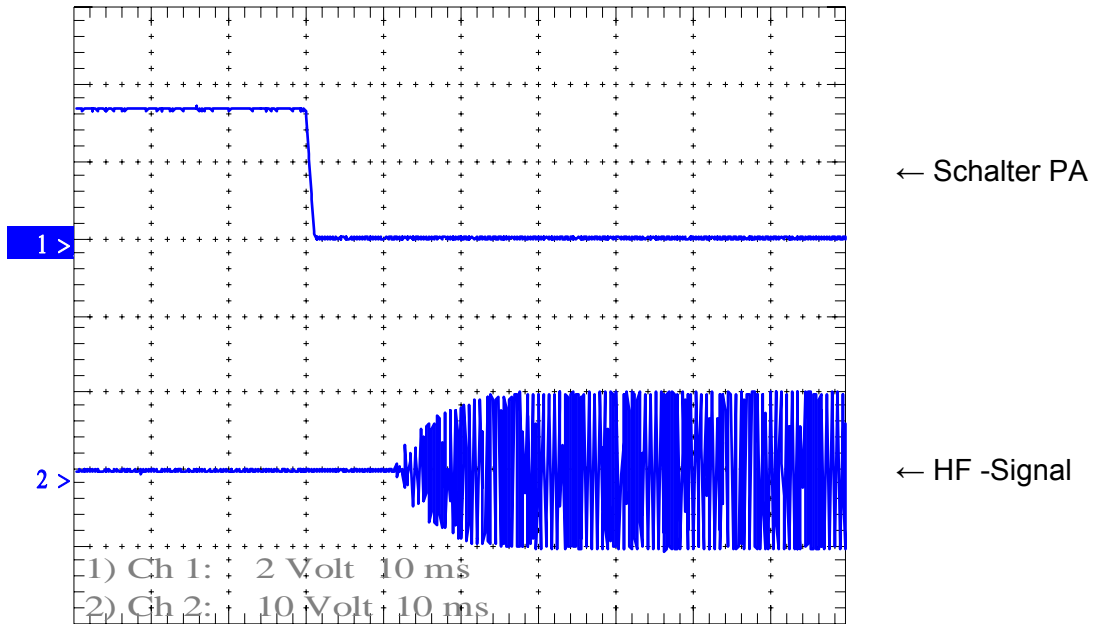


Spektrum CW-Keyer bei Tempo 140 (28WpM)

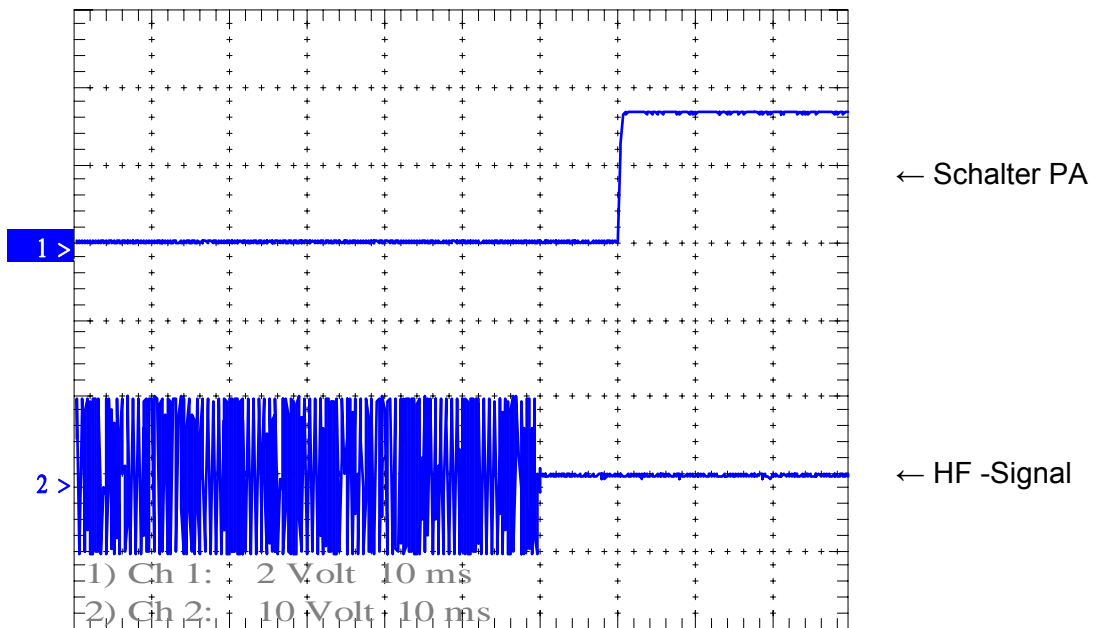


Sendsignal bei Tempo 140 (28WpM)

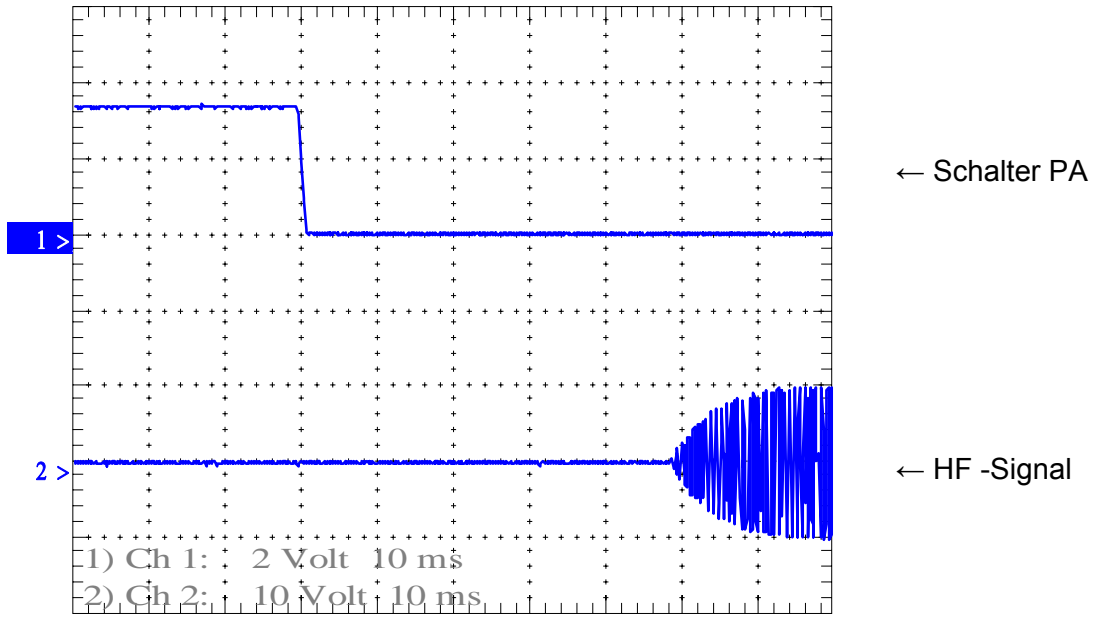
## 2.4 Ein- und Ausschaltverzögerung für die PA-Steuerung



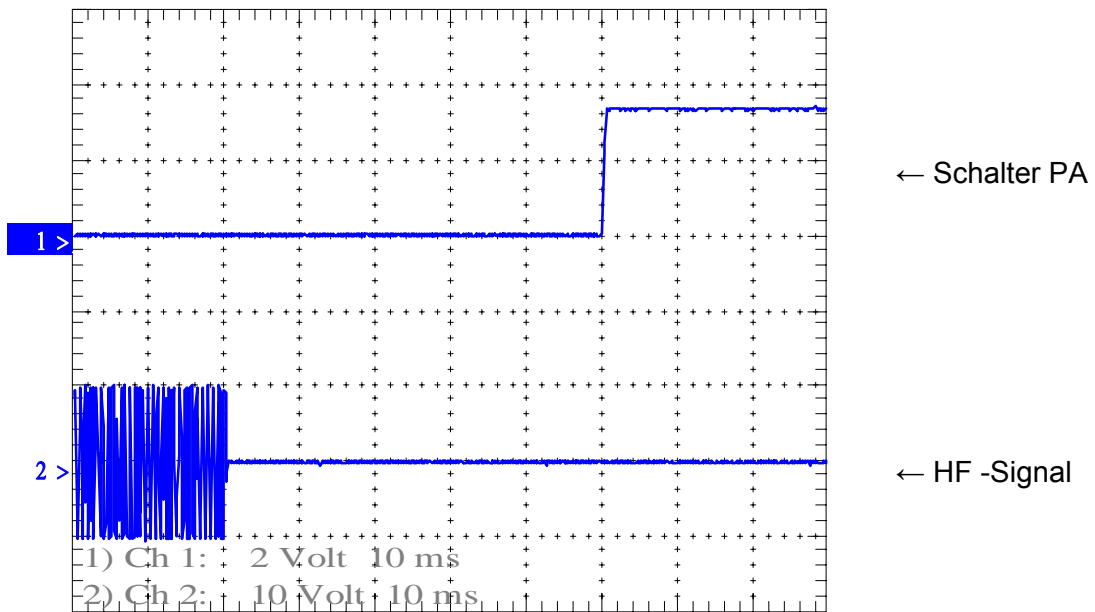
Einschaltvorgang: PA-CTRL = on, Tx-DEL = 10ms



Ausschaltvorgang: PA-CTRL = on, Tx-DEL = 10ms



Einschaltvorgang: PA-CTRL = on, Tx-DEL = 50ms



Ausschaltvorgang: PA-CTRL = on, Tx-DEL = 50ms