

## **Verifikation Prototyp 2**

Stand: 09.09.2015

### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Stromaufnahme</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Quarzfilter</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Das aktive Filter</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Empfindlichkeit, Dynamikbereich</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Test des AD-Wandlers</b> .....	<b>4</b>
5.1	Problem beim Programmstart .....	5
5.2	Test mit maximaler Aussteuerung .....	5
5.3	Test des Eigenrauschens .....	6
5.4	Test mit dem Eigenrauschen des Empfängers .....	7
<b>6</b>	<b>Tests der Signalverarbeitung mit dem LPC1769</b> .....	<b>7</b>
6.1	Enveloppendetektor.....	7
6.2	Verifikation der AGC.....	9
6.3	Der Impulse Noise Canceler .....	11
6.4	Das Autokorrelations-Filter .....	12

# Projekt Baken-Empfänger HB9AW

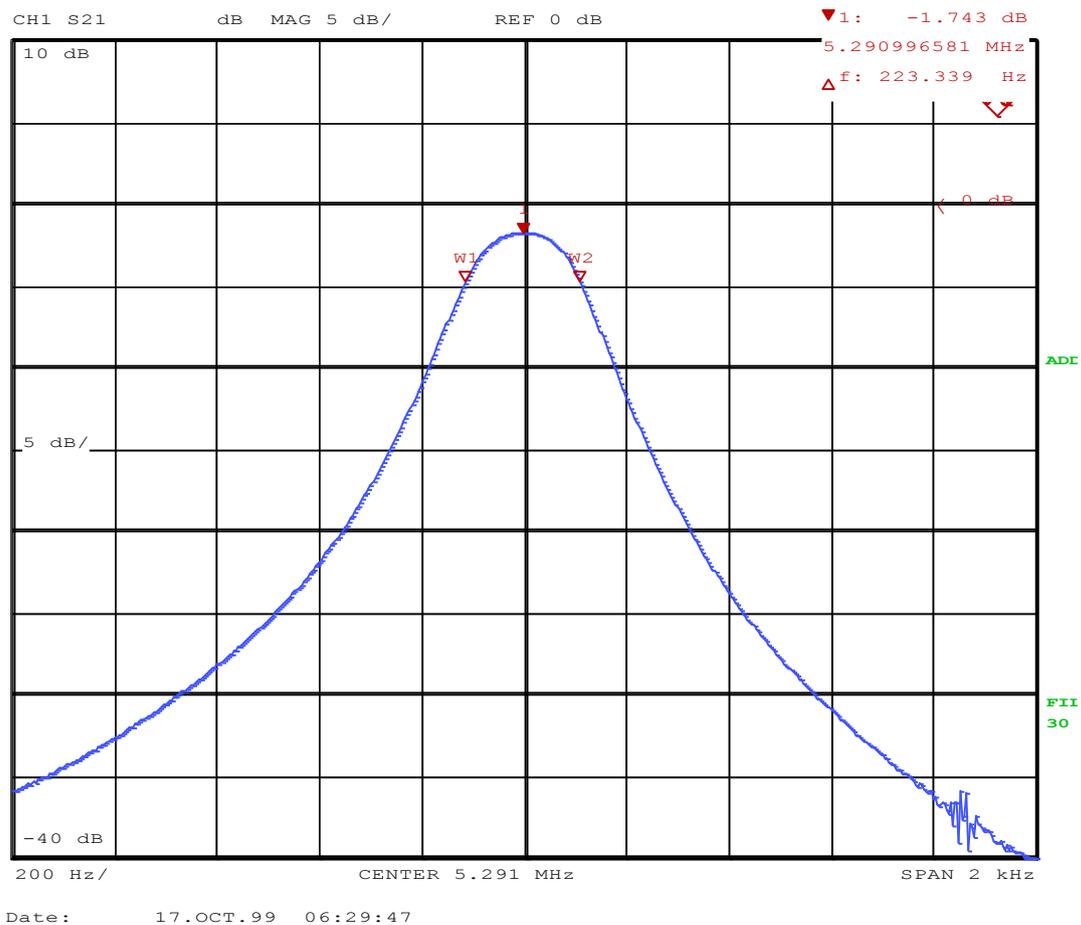
Verifikation

File \*.docx

## 1 Stromaufnahme

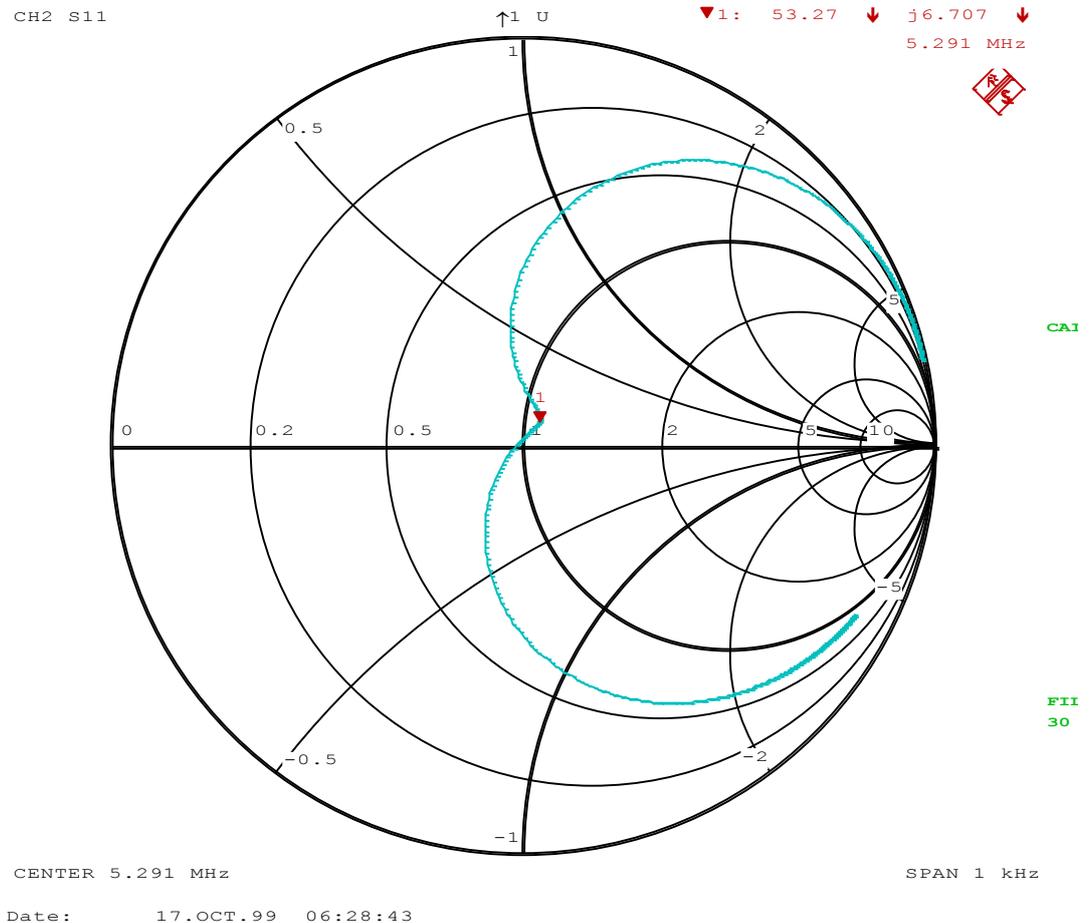
Die Stromaufnahme mit dem LPCXpresso-Modul beträgt 200 mA

## 2 Quarzfilter



Einfügedämpfung des Quarzfilters, gemessen über den Widerstand 10kΩ. Dies erfordert eine Korrektur von +40dB.

Die 3dB Bandbreite beträgt 232Hz, die 20dB Bandbreite 768Hz.



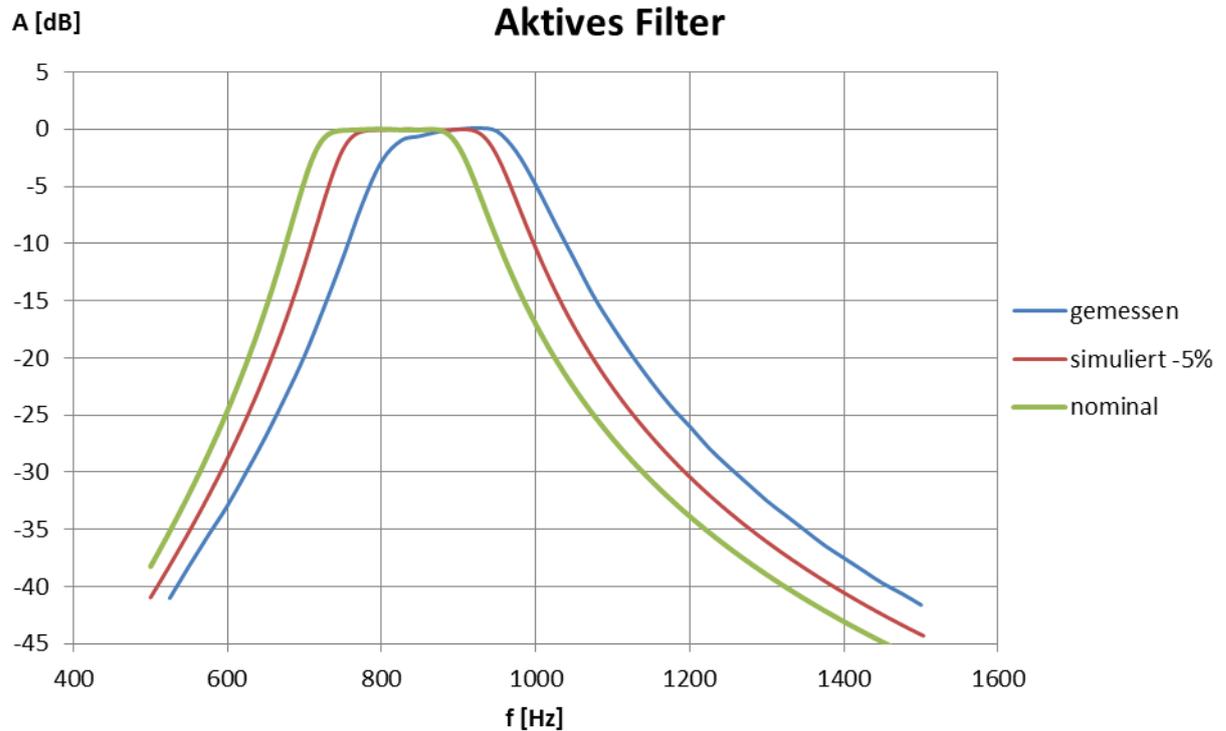
Der kapazitive Anteil der Eingangsimpedanz ist mit einer Serie-Induktivität von  $1\mu\text{H}$  kompensiert worden.

Die Belastung des Eingangs mit einer Kapazität von  $1.5\text{nF}$  ( $-j20\Omega$ ) ergibt eine Zusatzdämpfung des Quarzfilters von  $1.2\text{dB}$ . Das Filter reagiert damit relativ unkritisch auf Fehlanpassung.

### 3 Das aktive Filter

Die Messung der Durchlasskurve des aktiven Filters hat eine Abweichung der Mittenfrequenz von ca.  $+100\text{Hz}$  ergeben. Die Ursache liegt vor allem in der grossen Toleranz der Filterkondensatoren. Deren Werte liegen anstatt bei  $100\text{nF}$  im Bereich von  $88\dots95\text{nF}$ .

Die engste erhältliche Toleranz beträgt  $\pm 5\%$ . Damit verschiebt sich die Durchlasskurve um  $50\text{Hz}$ , was noch knapp zulässig ist (rote Kurve im Diagramm unten).



Die Verstärkung inklusive INA beträgt 33.2dB

## 4 Empfindlichkeit, Dynamikbereich

Der MDS ist am Ausgang des Aktivfilters gemessen worden mit dem PMG-13 zu:

$$\text{MDS} = -128.5\text{dB} \quad (=84\text{nV})$$

Das maximale Eingangssignal für  $0\text{dB}_{\text{FS}} = 3P_{\text{pp}}$  beträgt -36dBm. Daraus errechnet sich der Dynamikbereich zu

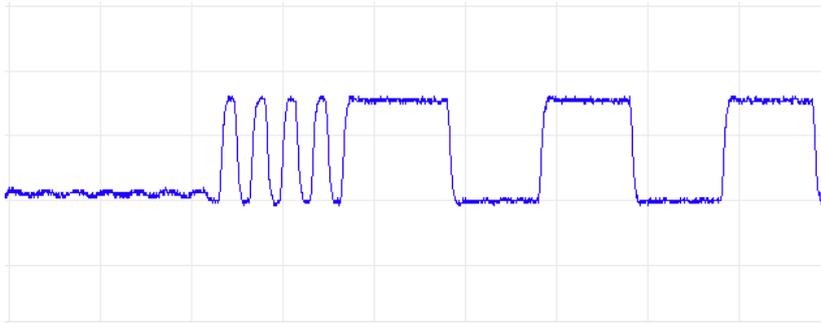
$$\text{DR} = 92.5\text{dB}$$

Die Empfindlichkeit ist im Vergleich zu dem Externrauschen zu hoch. Ein fixer Attenuator von 10dB direkt nach dem Eingang ist zu untersuchen.

## 5 Test des AD-Wandlers

## 5.1 Problem beim Programmstart

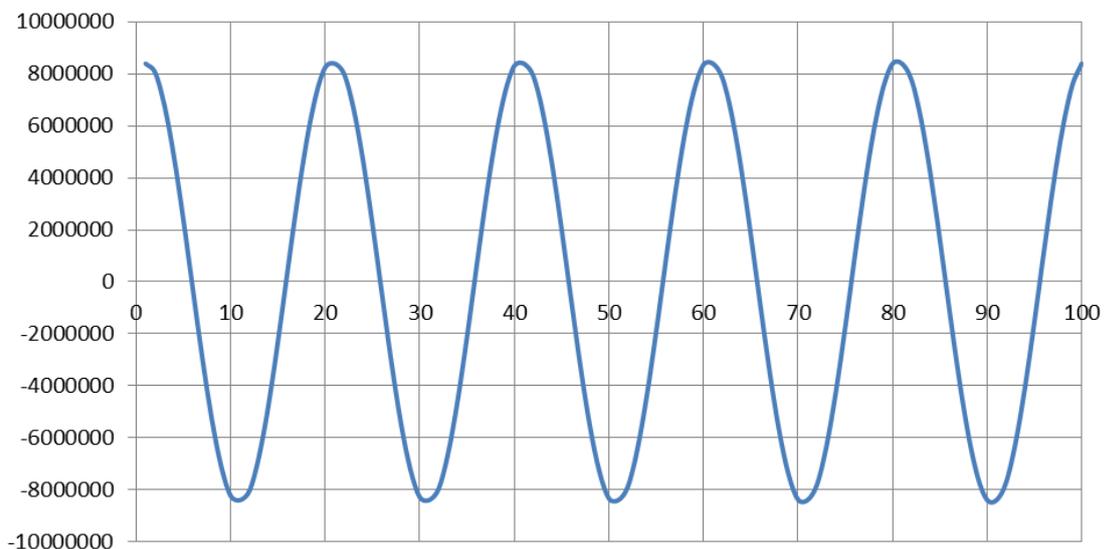
Der AD-Wandler kommt nicht aus dem Reset-State heraus, auch wenn die Taktsignale korrekt anliegen. Der Grund ist, dass die MCU beim Startup zunächst einige Zyklen vom 12MHz Clock auf den Ausgang MCLK gibt.



Mit einem Delay von ca. 10µs vor dem Initialisieren der Clock-Signalen für den AD-Wandler konnte dieses Problem behoben werden.

## 5.2 Test mit maximaler Aussteuerung

Die maximale Aussteuerung von  $\pm 23$ Bits ( $-8'388'608 \dots +8'388'607$ ) wird bei einer Eingangsspannung von 3.2V erreicht:



Der Algorithmus zur Umwandlung der unsigned 32bit-Daten in das signed 24bit-Format ist:

```
input_hex = input_32 >> 8
IF input_hex > 2^23 - 1
    int_data = input_hex - 2^24
else
```

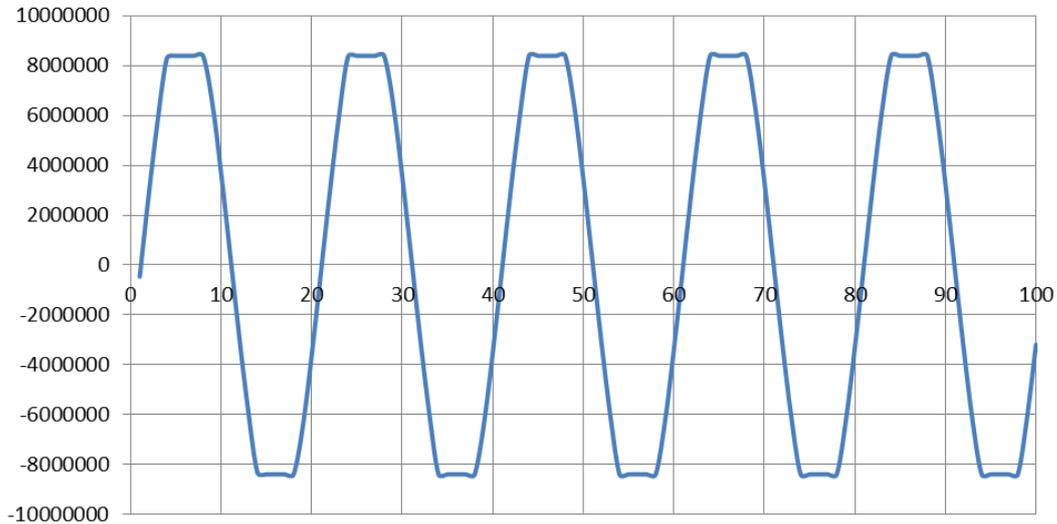
# Projekt Baken-Empfänger HB9AW

Verifikation

File \*.docx

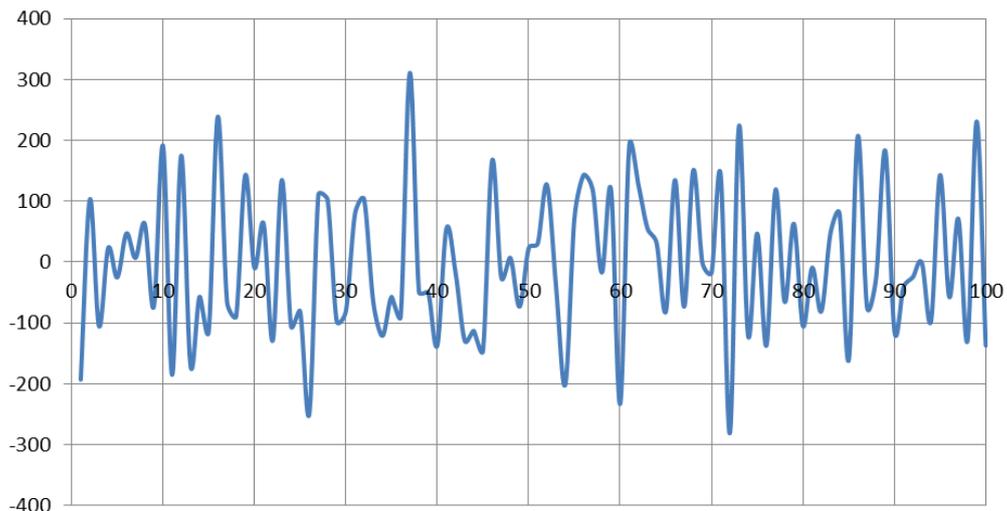
```
int_data = input_hex
```

Bei Übersteuerung mit einem Eingangssignal von 4Vpp entsteht eine saubere Begrenzung:



## 5.3 Test des Eigenrauschens

Der Eingang des AD-Wandlers ist über einen 10nF Kondensator auf GND gelegt:



Die aus den oben ermittelten Werten berechnete Eingangsspannung beträgt

$$U_{in} = 46\mu V_{rms}$$

Verglichen mit der maximalen Eingangsspannung von  $3.2 / \sqrt{2} = 2.26V_{rms}$  ergibt sich ein Dynamikbereich von 93.8dB, leicht kleiner als der Spezifizierte Wert von 96dB.

# Projekt Baken-Empfänger HB9AW

Verifikation

File \*.docx

## 5.4 Test mit dem Eigenrauschen des Empfängers

Der am Eingang mit  $50\Omega$  abgeschlossene Empfänger produziert am Eingang des AD-Wandlers eine Rauschspannung von:

$$U_{in} = 117\mu V_{rms}$$

Dieser Wert liegt 8dB über dem Eigenrauschen des AD-Wandlers. Der Dynamikbereich wird dadurch ebenfalls um 8dB verringert. Da das von der Antenne gelieferte Externrauschen noch wesentlich höher ist, muss die Verstärkung vom aktiven Filter von 18dB auf 10dB reduziert werden.

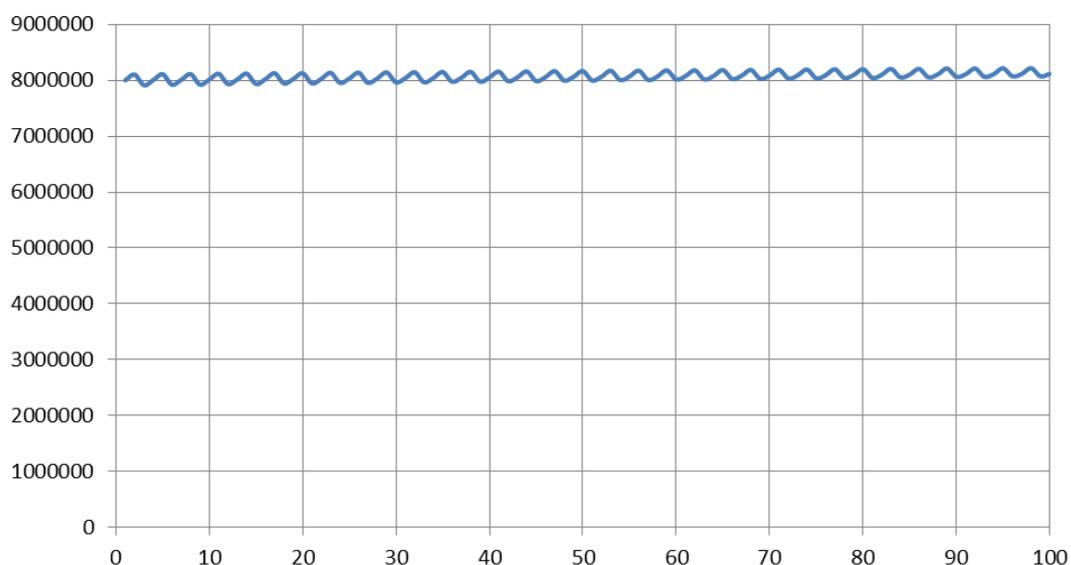
Wenn am Empfängereingang ein Signal von  $1\mu V$  anliegt, so wird am Eingang des AD-Wandlers eine Spannung von 1.57mV erzeugt. Dies entspricht einem Rauschabstand von 22dB oder einem MDS von -130dBm. Das weiter oben erwähnte Dämpfungsglied von 10dB direkt am Eingang ist daher verkraftbar.

Unter den gegenwärtigen Einstellungen beträgt das maximale Eingangssignal 2.04mV. Dies entspricht -40.8dBm oder S9 + 32dB.

## 6 Tests der Signalverarbeitung mit dem LPC1769

### 6.1 Enveloppendetektor

Der Enveloppendetektor ist nach dem Simulations-Algorithmus realisiert worden. Das Ausgangssignal mit 8ksps und voller Aussteuerung:



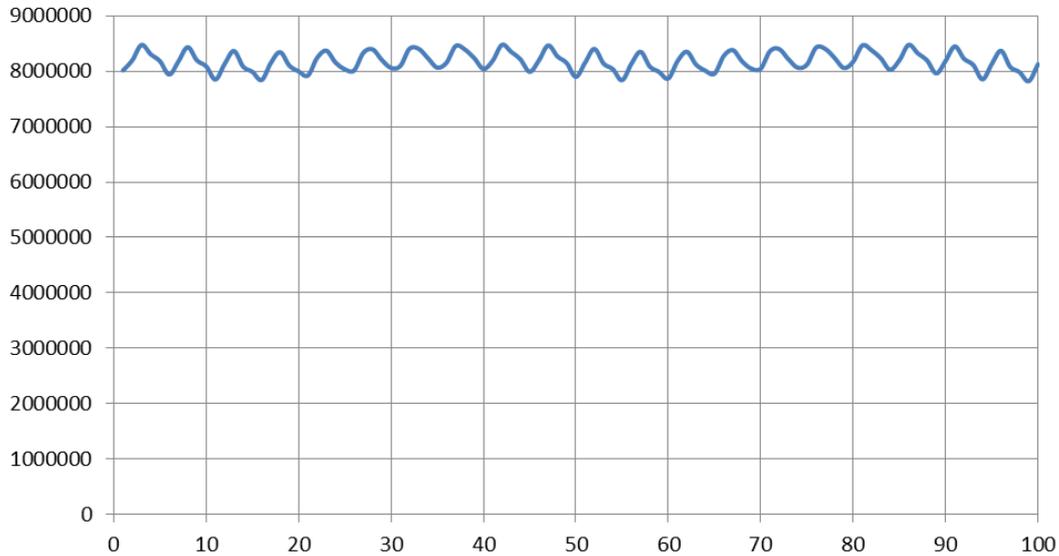
$U_{in} = 3.2V$  (am AD-Wandler),  $f = 651Hz$

# Projekt Baken-Empfänger HB9AW

Verifikation

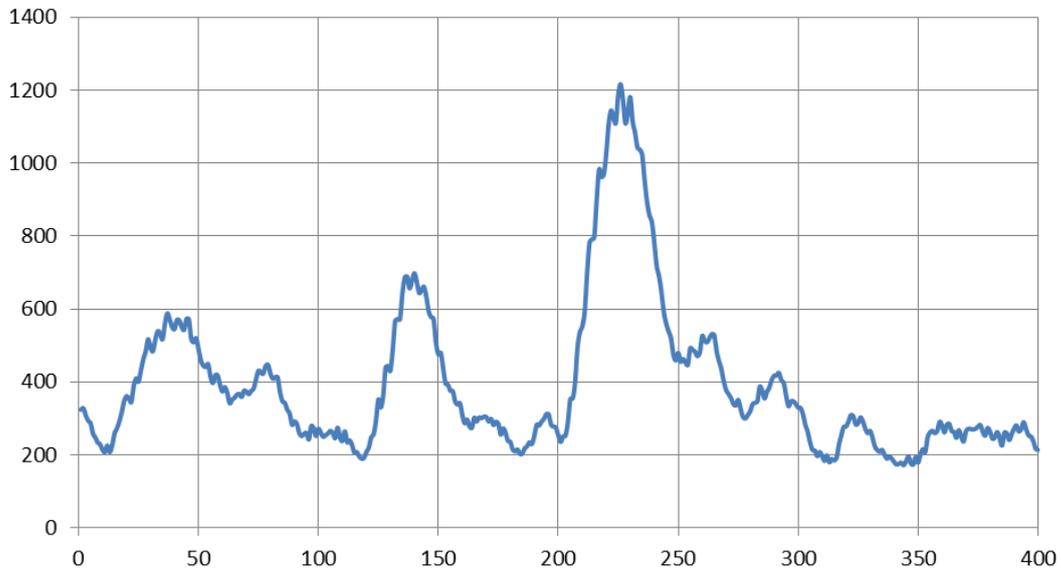
File \*.docx

Bei einer Frequenz von 800Hz wird der Rippel geringfügig höher:



$U_{in} = 3.2V$  (am AD-Wandler),  $f = 800Hz$

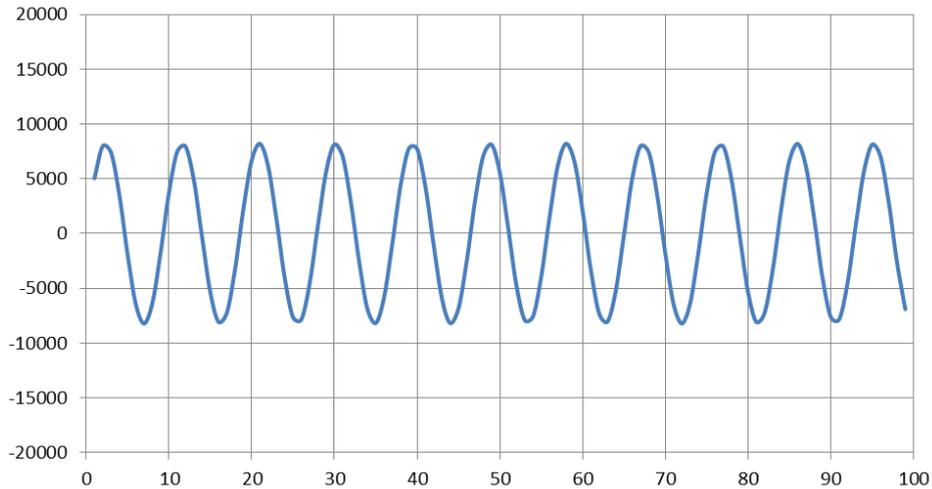
Das Eigenrauschen des Empfängers (X-Achse erweitert):



Der aus dieser Sichtweise mögliche Dynamikbereich beträgt ca. 86dB. Eine genauere Messung ist erst nach der anschließenden Mittelung möglich. Die Ursache der niederfrequenten Spitzen im Bereich 120...160Hz könnte im Schrottrauschen der Op-Amps liegen.

## 6.2 Verifikation der AGC

Das Signal AGC\_out nach der Regelung (Pin = -60dBm):



Der 10bit DA-Wandler muss mit einer Breite von 16 Bits angesteuert werden (nicht dokumentiert!), um auf Vollaussteuerung zu kommen. Die maximale Aussteuerung würde dadurch bei  $\pm 16383$  erreicht. In der Darstellung oben ist eine Reserve von Faktor 2 eingehalten.

Die Umwandlung der signed in unsigned Werte erfolgt nach:

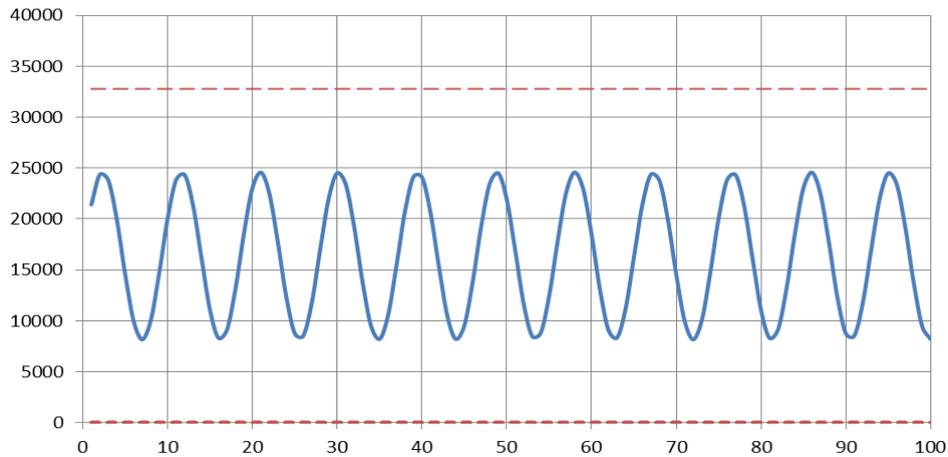
Signed Value		Unsigned Value		Needed action	Result
decimal	Hex	decimal	hex		
16383	0x3FFF	32767	0x7FFF	+0x4000	0x7FFF
0	0x000	16384	0x4000	+0x4000	0x4000
-1	0x7FFF	16383	0x3FFF	-0x4000	0x3FFF
-16384	0x4000	0	0x0000	-0x4000	0x0000

Die negativen Werte müssen nach links mit 0xFFF aufgefüllt werden, um eine korrekte Subtraktion zu erhalten. Nach der Addition / Subtraktion muss das Resultat mit 0x7FFF maskiert werden.

# Projekt Baken-Empfänger HB9AW

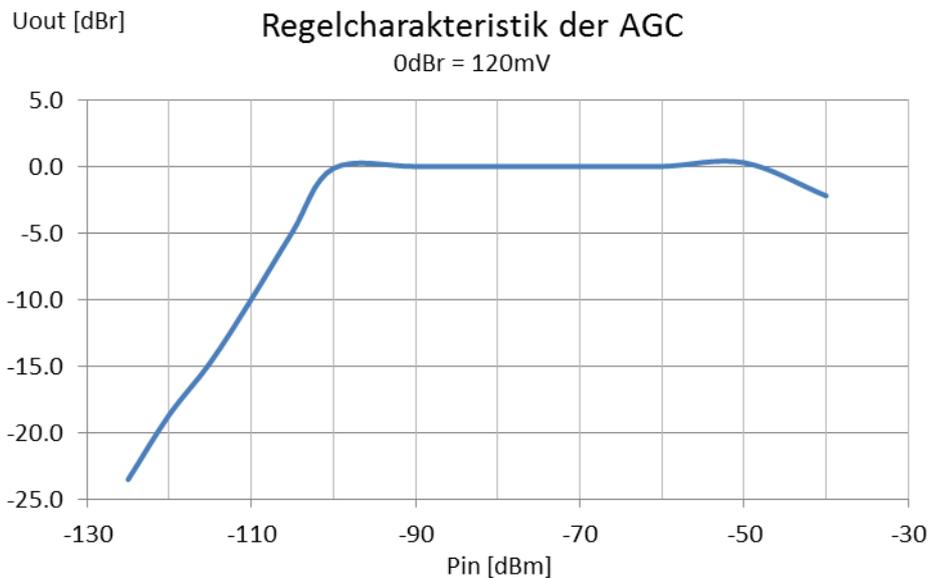
Verifikation

File \*.docx



Das obige Diagramm zeigt die Daten des von der AGC geregelten Signals, wie es zum DA-Wandler geschickt wird. Die roten Linien deuten die Begrenzungen an, bezogen auf 16 Bit.

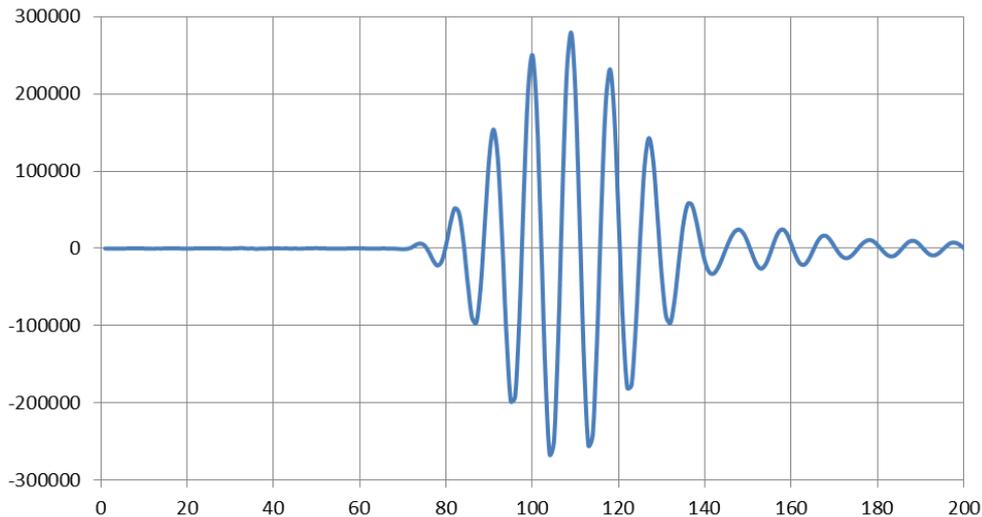
Die Regelung ist so eingestellt, dass die AGC bei einem Eingangssignal von -100dBm einsetzt. Damit wird das Rauschen des Empfängers ohne Signal stark gedämpft.



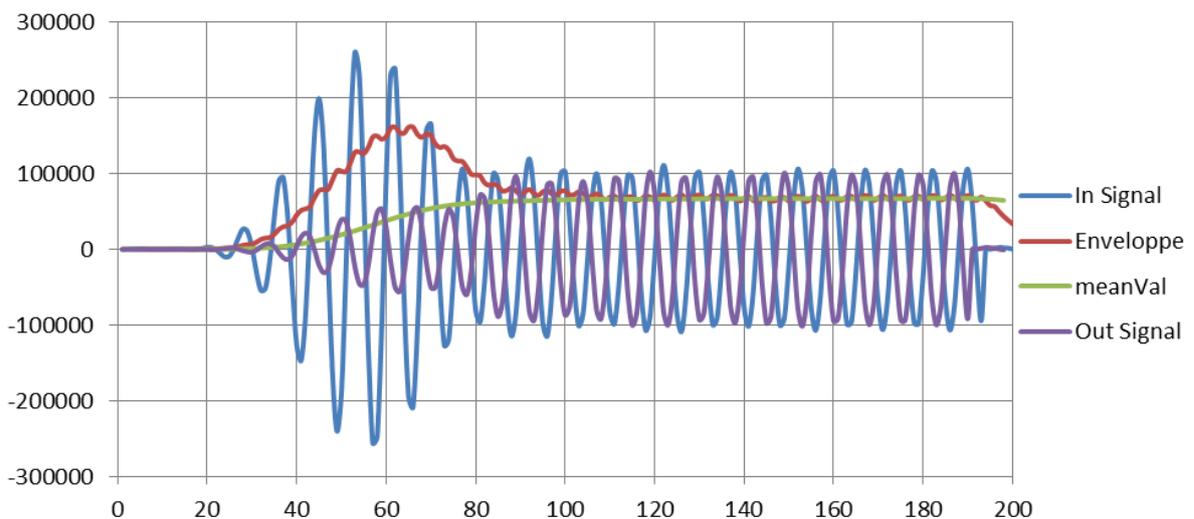
Die Ausgangsspannung direkt am DA-Wandler beträgt 700mVpp (247mVpp)

## 6.3 Der Impulse Noise Canceler

Das Problem bei der Störaustattung besteht darin, dass das Störsignal nur mit einer sehr geringen Bandbreite von 200Hz zur Verfügung steht. Durch diesen Umstand wird ein kurzer Störimpuls von z.B 500µs Dauer (entspricht 4 Samples) durch die Filter auf eine Länge von 10ms (80 Samples) verlängert wird (siehe unten).

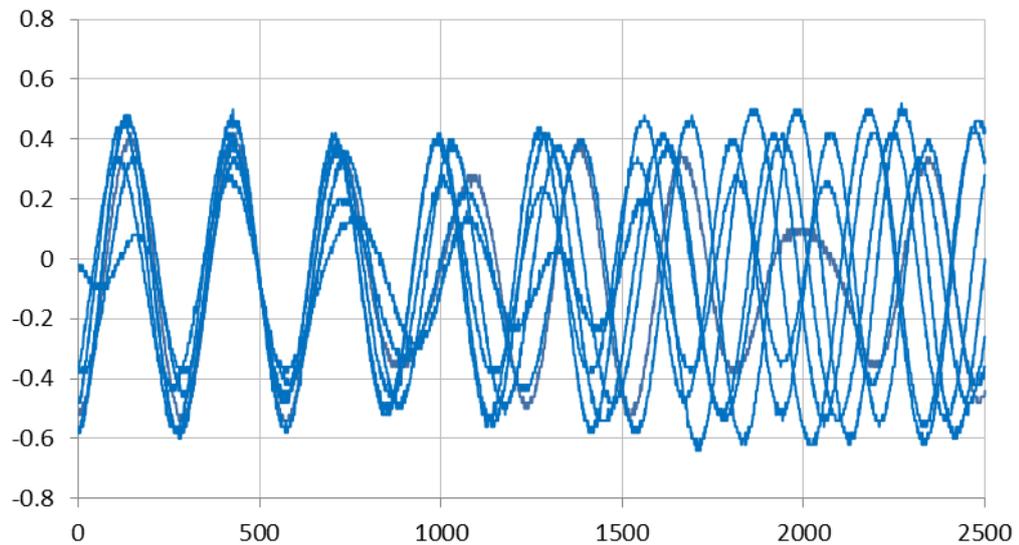


Anstelle der klassischen Austattung wird deshalb eine Formung (Shaping) der Signale mit einem steilen Anstieg vorgenommen. Hierzu wird aus der Enveloppen der Empfangssignale ein Mittelwert (meanVal) gebildet. Übersteigt die Enveloppe den Mittelwert, so tritt der Shaper solange in Aktion, bis die Enveloppe  $\leq$  dem meanVal ist.

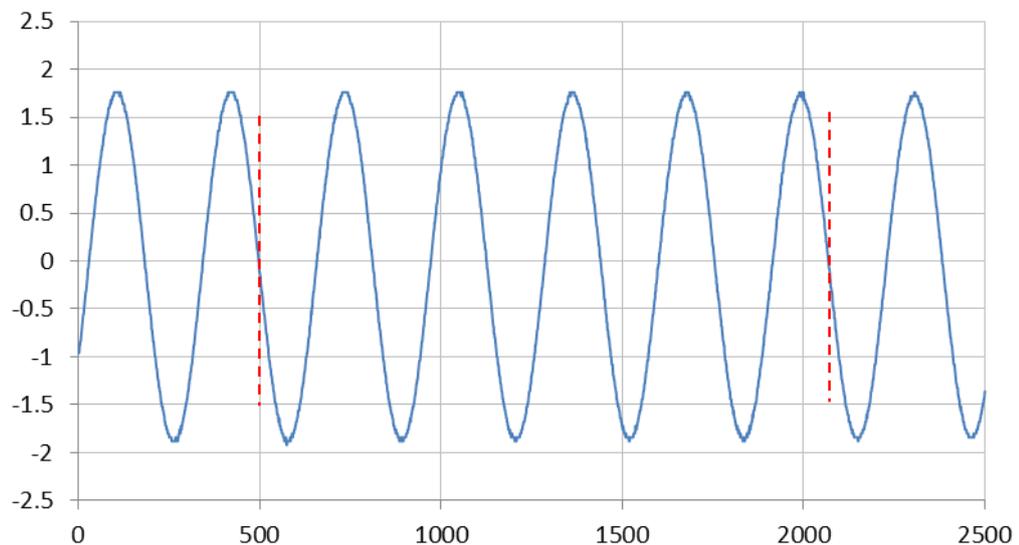


## 6.4 Das Autokorrelations-Filter

Das nachfolgende Diagramm zeigt weisses Rauschen, das vom Empfänger bandbegrenzt ist. Daraus ist ersichtlich, dass im Zeitbereich um  $i = 500$  eine starke Korrelation herrscht.



Wenn allerdings die Amplituden zum Zeitpunkt  $i = 500$  und  $i = 2070$  verglichen werden, so ist keine Korrelation mehr festzustellen. Mit dem reinen Empfangssignal herrscht an diesen Stellen aber vollständige Übereinstimmung (siehe Diagramm unten).



Diese Eigenschaft kann durch die Autokorrelations-Funktion ausgenutzt werden:

$$AKF = A[i] * A[i+p] \quad (\text{für dieses Beispiel ist } p = 1570)$$

Wenn  $A$  dem Effektivwert des Signals entspricht, so strebt die AKF für Rauschen gegen 0 und für das Signal gegen  $A^2/2$ .

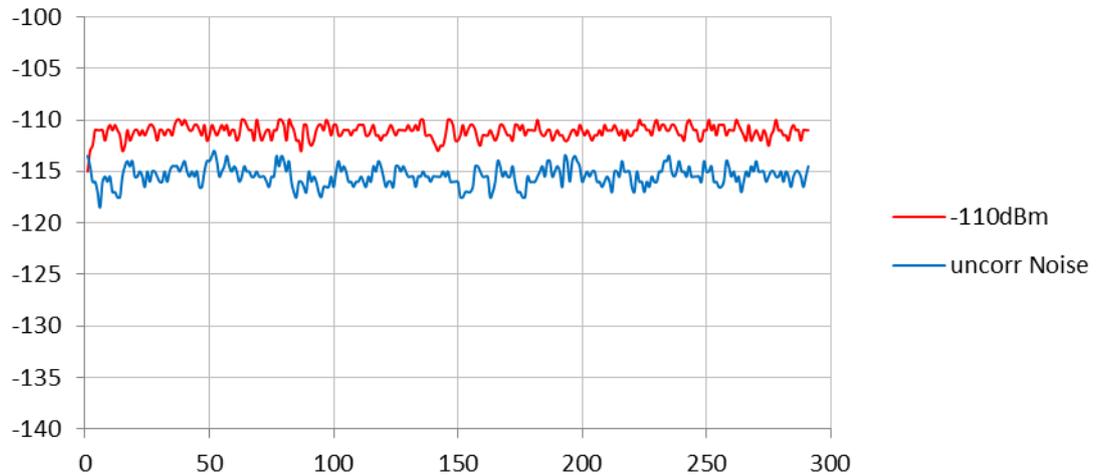
Nachfolgend sind die Resultate aus den dBm-Messungen dargestellt:

# Projekt Baken-Empfänger HB9AW

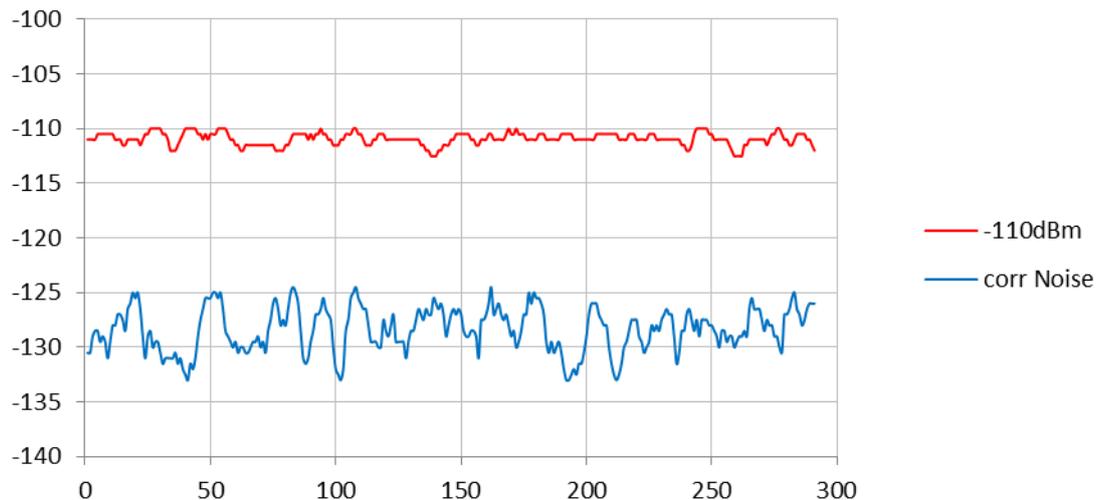
Verifikation

File \*.docx

## S/N ohne Korrelation



## S/N mit Korrelation



Die Korrelation bringt bei exakt 800Hz eine Rauschunterdrückung von ca. 13dB. Der Frequenzgang des Korrelators fällt infolge der grossen Distanz von 80 Samples ausserhalb von 800Hz steil ab (siehe nächstes Diagramm).

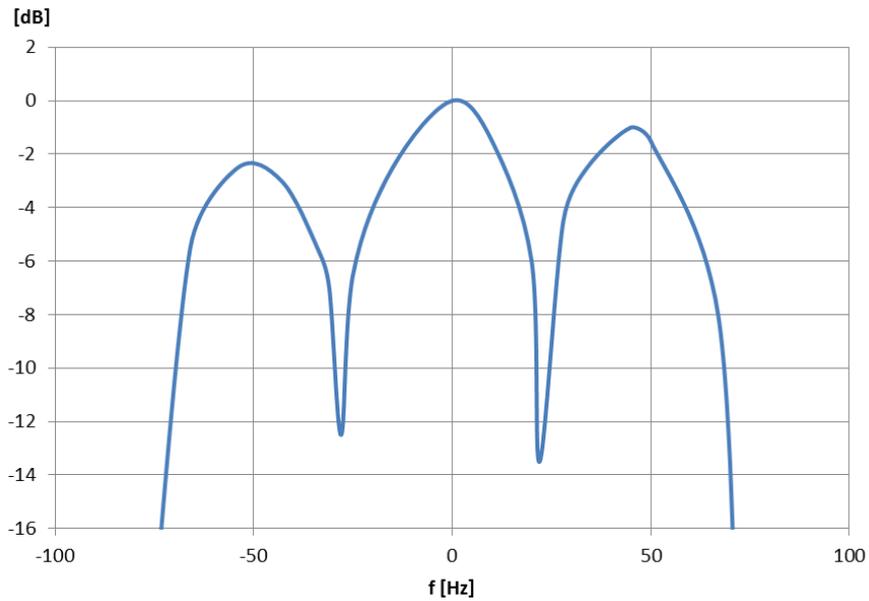
Da mit einer Drift des LO-Quarzes von ca.  $\pm 15$ ppm ( $\pm 80$ Hz) gerechnet werden muss, ist eine Regelung unumgänglich. Anstatt den Quarz auf die Sollfrequenz zu ziehen, kann die Länge der Delay Line des Korrelators im Bereich zwischen 70 und 90 Samples variiert werden. Ein Sample entspricht einer Frequenzänderung von 10Hz, wodurch der Amplitudenfehler unterhalb von 1dB liegen wird.

Als Regelkriterium dient die Messung der Frequenz des ersten Tones bei genügender Feldstärke.

# Projekt Baken-Empfänger HB9AW

Verifikation

File \*.docx



Gemessener Frequenzgang des Korrelators mit fixer Länge 80 Samples

Nach der Korrektur der Bufferlänge entsprechend der gemessenen Frequenz wird der Frequenzgang flacher und bildet wesentlich die Frequenzgänge der Analogfilter nach

