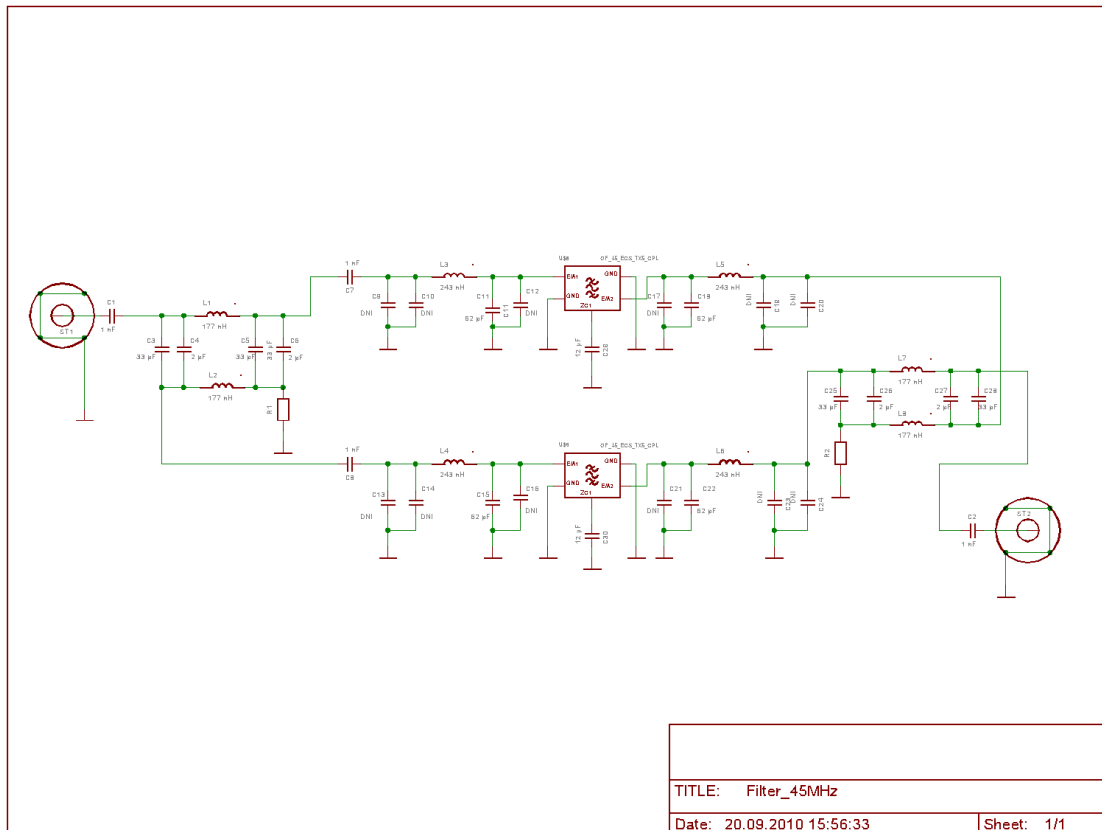


Untersuchungen und Überlegungen zum Verstärkerzug im Bavarix-Frontend

1. Quarz-Filter 45 MHz

1.1 Filter mit 2x ESC75SMF45A7.5B mit 90 Grad-Hybrid

1.1.1 Schaltung 45 MHz



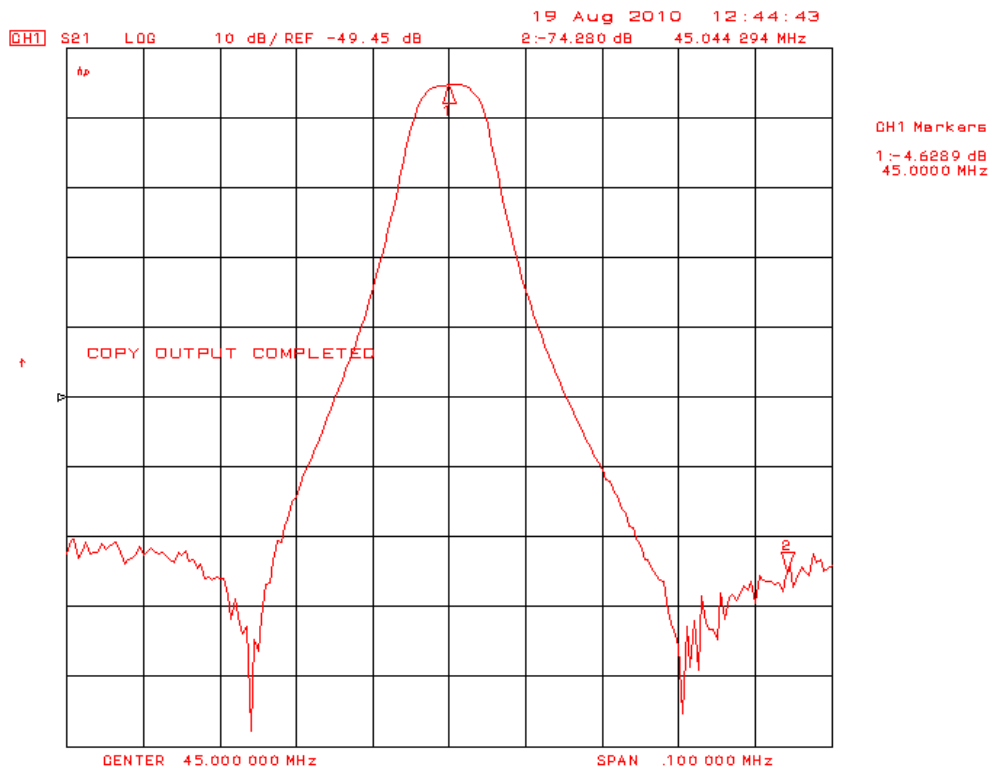
1.1.2 Messergebnis

L/C Anpassung Simulation mit RevLoad L=434 nH, C= 24 pF

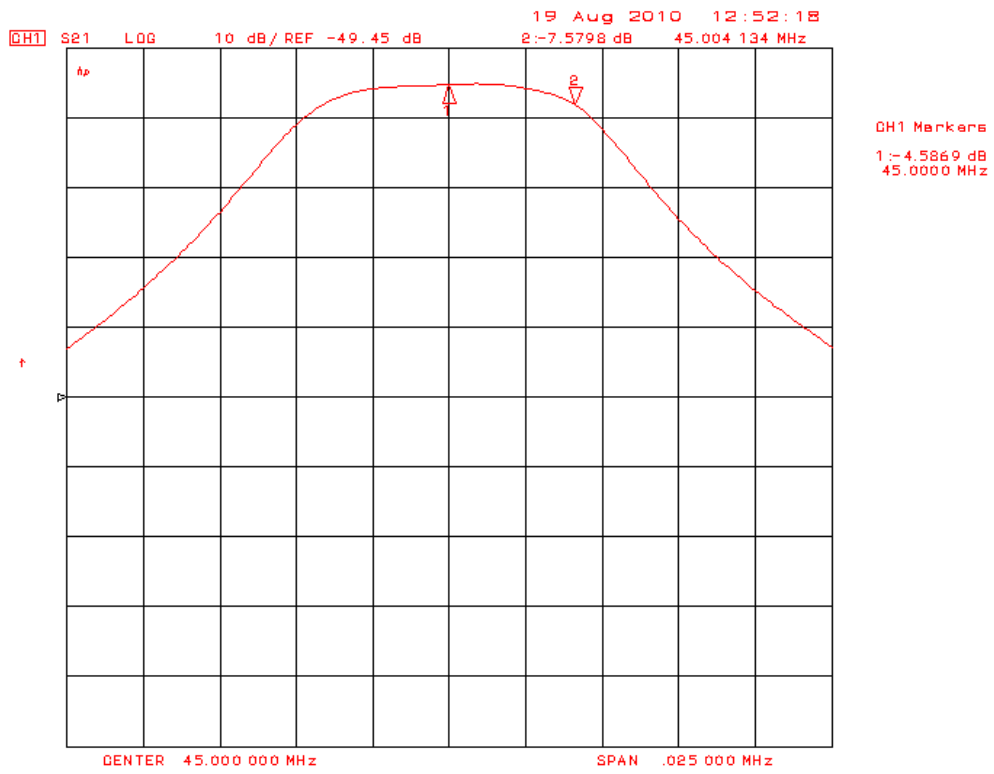
Gewählt: Eingangsseite L= 470 nH Chipspule 1206 Stettner 470 nH; C = 24 pF

Ausgangsseite L= 470 nH Chipspule 1206 Stettner 470 nH;

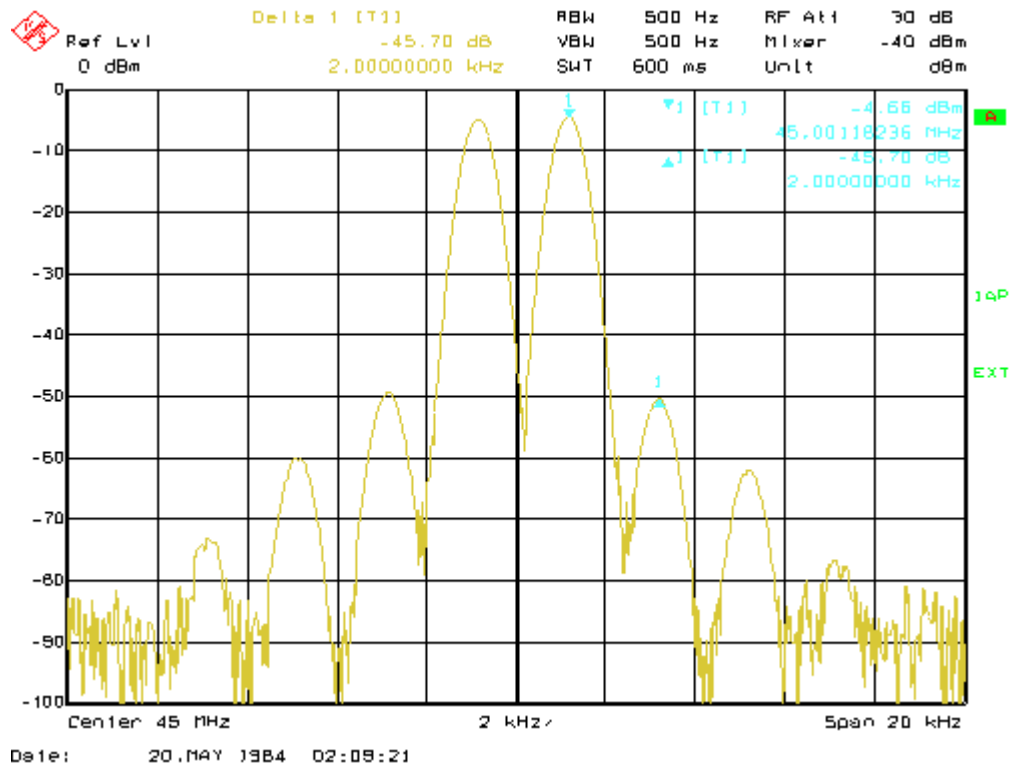
C = 24+2,2 pF



60dB Bandbreite: 44 kHz
Weitabselektion > 65 dB



Durchgangsdämpfung: 4,6 dB
 3dB Bandbreite : 8,5 kHz



In-Band IP3: $IMD/2 + P_e = 46/2 + 0 = 23 \text{ dBm}$

1.2 Alternativ-Filter Inrad 45 MHz for Experimenter

Filter Specifications	4-5 kHz typical
Bandwidth:	4-5 kHz typical
Insertion loss:	5 dB typical
Case:	Shown below
Temperature range:	0 to 50 degrees C.
Input/Output match:	50 Ohms
Operating level:	0 dBm maximum
Isolation:	-60 dB typical

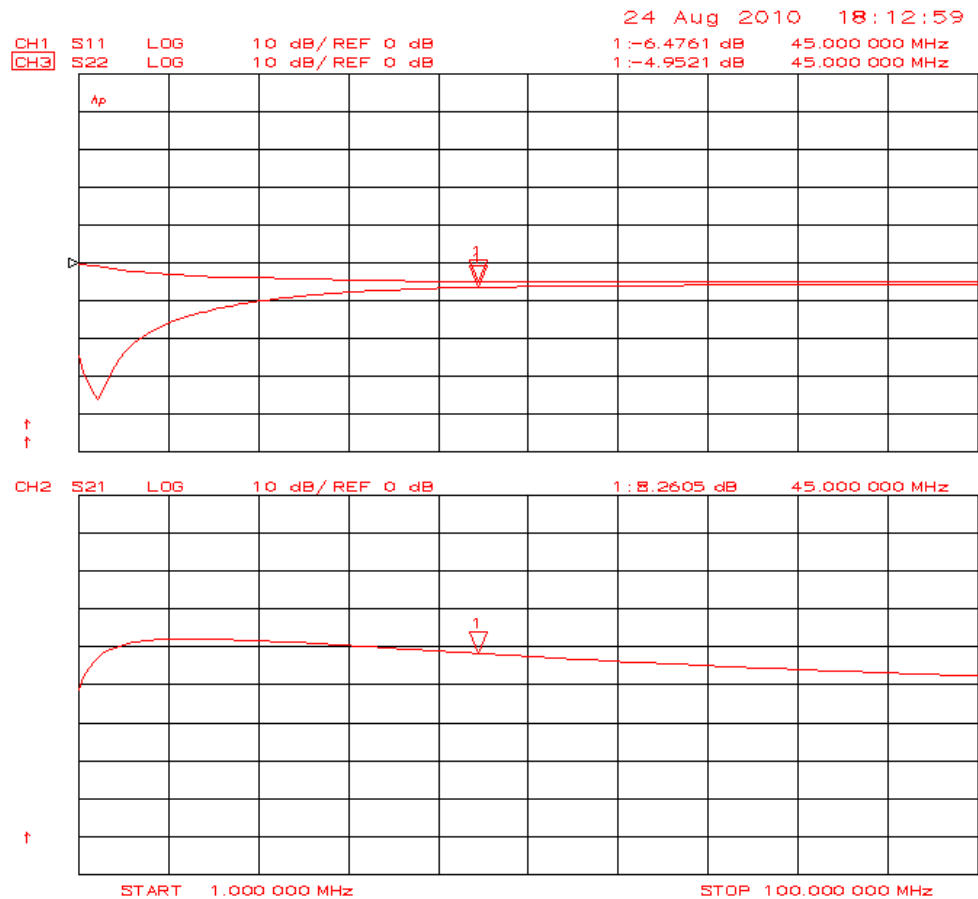
Aus Datenblatt:

3dB-Bandbreite : 4,5 kHz

60dB-Bandbreite: 15 kHz

Preis: 125 \$

<http://www.inrad.net/product.php?productid=34&cat=6&page=1>



$S_{21} = 8,26 \text{ dB}$

$S_{11} = 6,4 \text{ dB}$

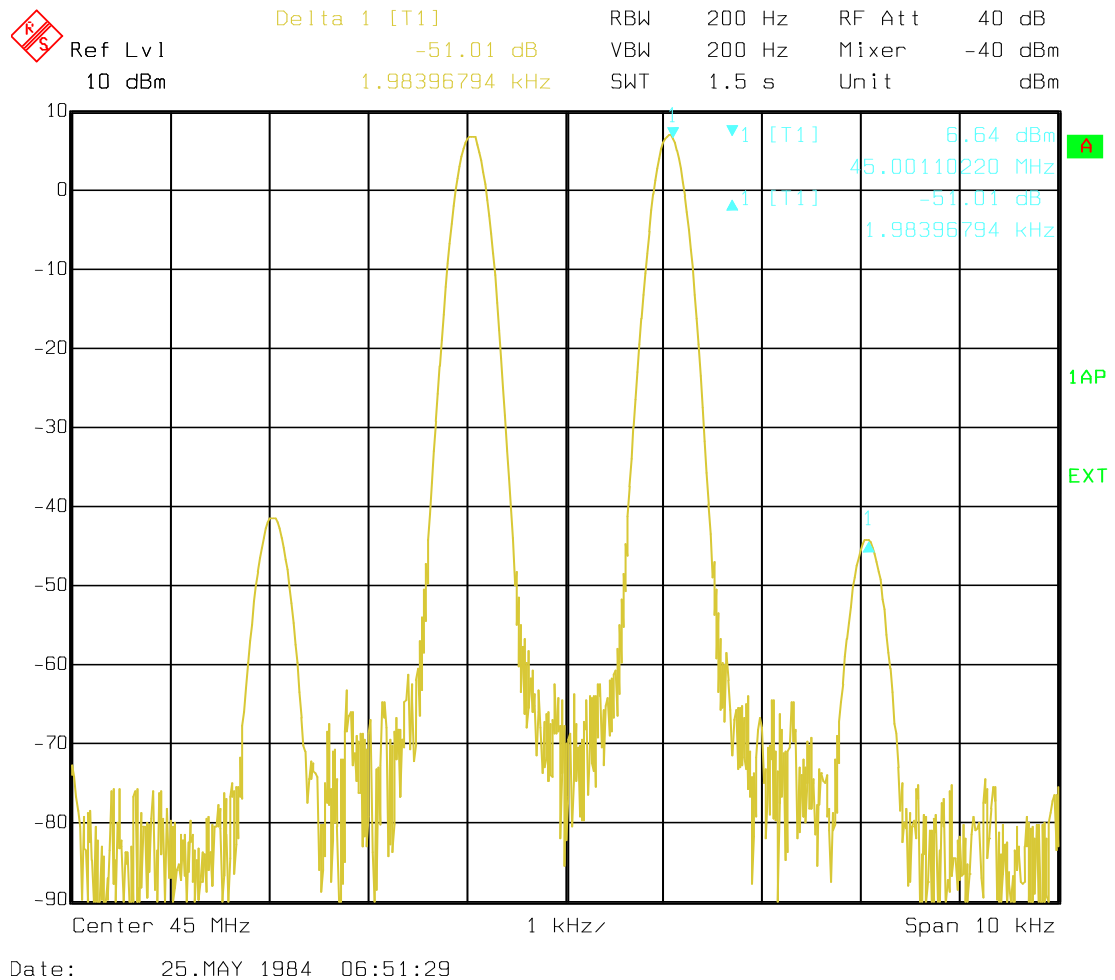
$S_{22} = 5,0 \text{ dB}$

Die Anpassung konnte ich auch durch Änderung des Windungszahlverhältnis und des Materials der Übertrager nicht wesentlich ändern.

Lediglich die Verstärkung konnte durch Verzicht auf die Gegenkopplung auf ca. 10 dB erhöht werden.

Noise Figure wurde nicht gemessen. Geschätzt liegt er bei 1-1,5 dB.

2.1.2.2 Messung IP3

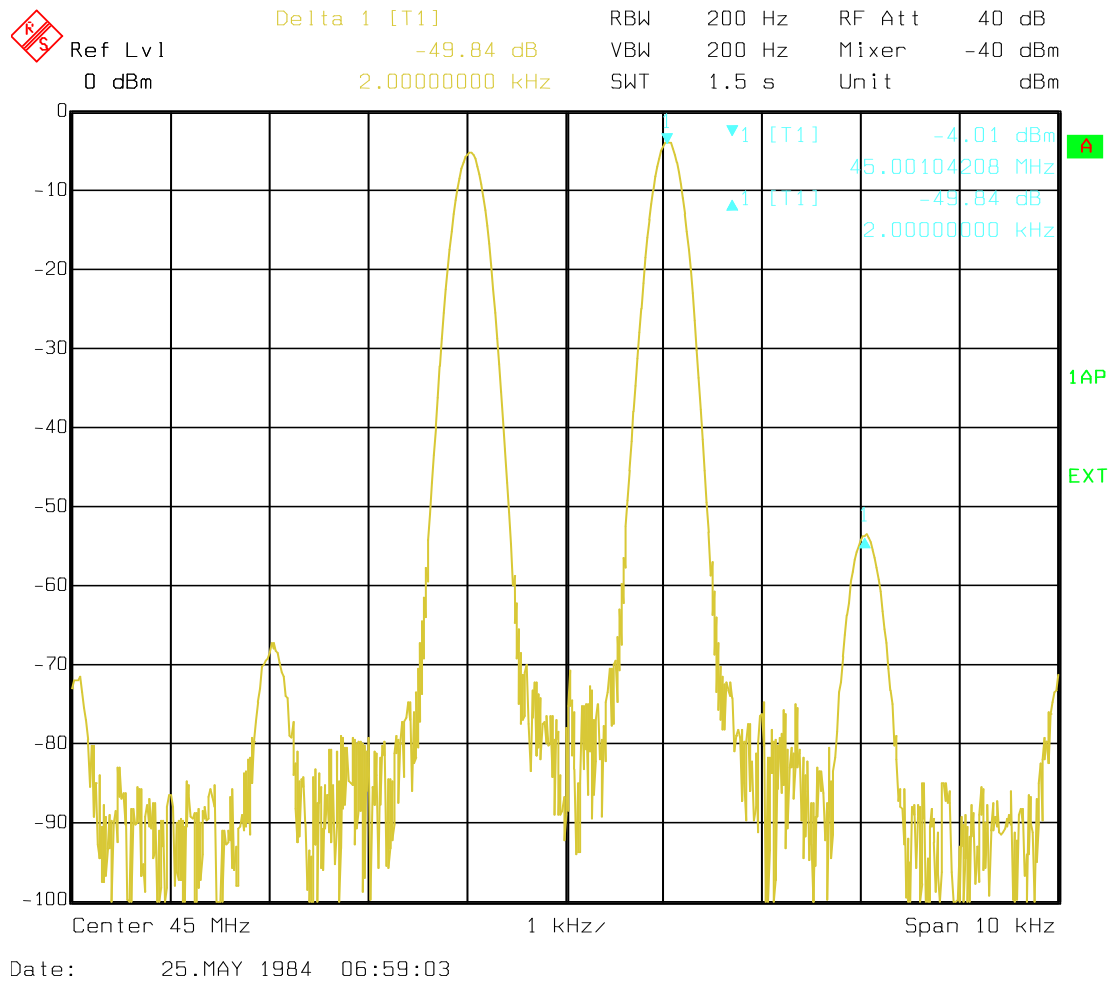


Pe= 2x0dBm

IP3 = 25,5 dBm

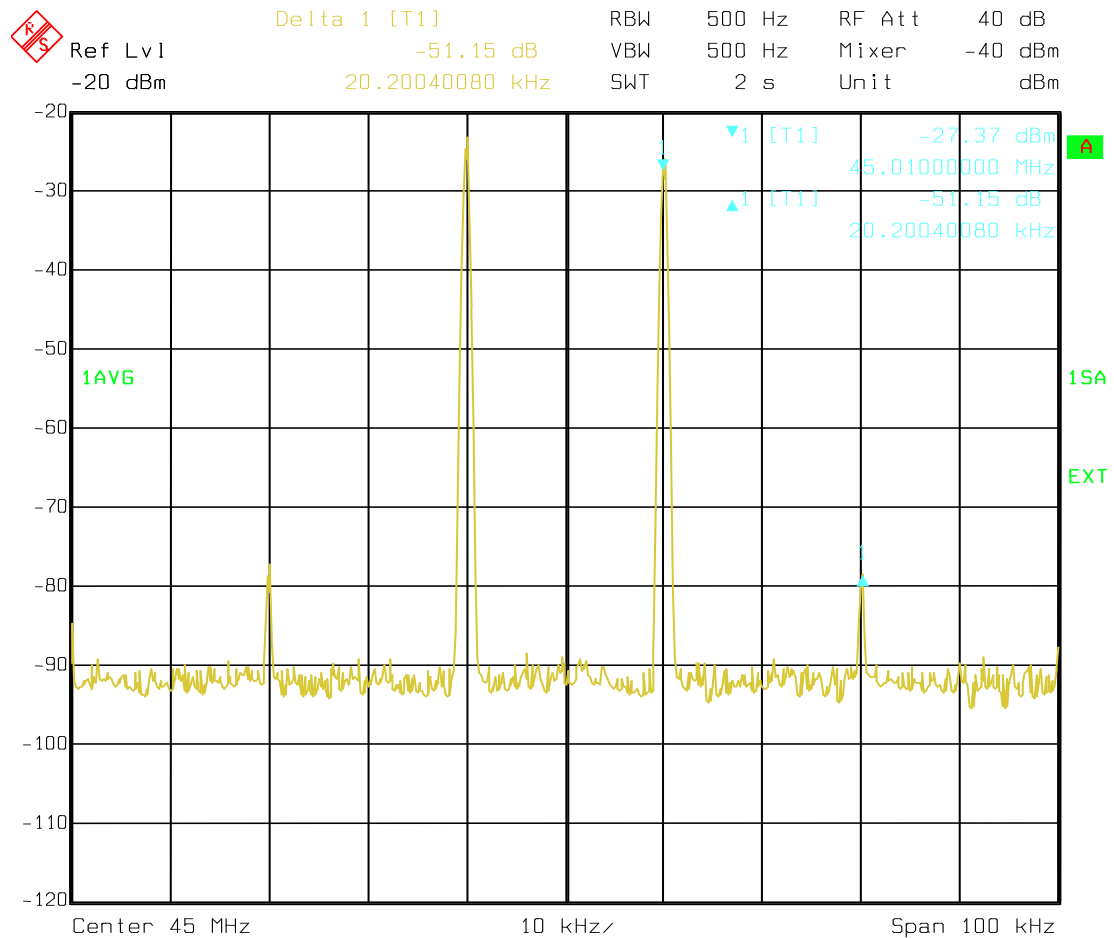
2.1.2.3 Messung IP3 gesamtes Frontend

Inband IP3 gesamtes Frontend (Mischer, Filter nach 1.1.1, Fet-Verstärker) bei 7 MHz mit $\Delta F = \pm 1 \text{ kHz}$



P_Ein = 2* 0dBm
 Verstärkung = -4dB
 IP3 @ 2 kHz = 25 dB

IP3 bei 7 MHz Delta_F=+/- 10 kHz



Date: 25.MAY 1984 07:45:14

P_Ein = 2* 10dBm

Verstärkung = -37dB

IP3 @ 20 kHz = 51/2 + 10 = 35,5 dBm

2.2 Norton-Verstärker

Aus Literatur und Internet sind viele Anwendungen und Beispiele hinreichend bekannt. Nachteil ist immer ein recht zeitraubendes und fehlerträchtiges Wickelszenario des Übertragers.

Aus „Arbeitsbuch für den HF-Techniker“ von E. T. Red sind folgende wichtige Kenngrößen für einen Verstärker zu erwarten:

Rauschmaß oder Noise Figur	F: 1,5 4 dB
Verstärkung oder Gain	G: 420 dB
Input IP3	IIP3: 15.....40 dBm
Input 1dB Kompression	IP1dB: -7.....12 dBm

Es gilt $OIP3 = IIP3 + G$ und $OP1dB = IP1dB + G$

Diese Werte werden meistens in Datenblätter angegeben.

Ein Verstärker mit einem IIP3 von 40 dBm ist schon sehr verführerisch, allerdings nicht realisierbar, wenn gleichzeitig eine gutes Rauschmaß erreicht werden soll.

Der Hauptnachteil von Norton-Verstärkern ist die geringe Rückwärtsentkopplung, die im Zusammenhang mit den Reflektionen im Sperrbereich des ZF-Filters die reflektierten Signale wieder an den Mischer zurückfließen läßt.

2.3 Integrierte Verstärker

Integrierte Verstärker sind heute Stand der Technik und werden inzwischen in großen Stückzahlen gefertigt und damit auch immer billiger. Eine Auswahl geeigneter Verstärker zeigt folgende Übersicht.

Vorteile sind geringes Rauschmaß und gute Entkopplung, Nachteil ist die relativ hohe Verstärkung bei niederen Frequenzen.

Übersicht geeigneter Verstärker

Verstärker-Kenndaten 45 MHz

Typ	Gain	NF	OP1dB	IP1dB	OIP3	IIP3	V/mA	Gehäuse	Hersteller
AH3	13	6	20	7	36	23	5/150	SOT89	TriQuint
AH31	19	3,5	22	3	42	23	5/150	SOT89	TriQuint
AH101	12	4,4	26	14	45	33	9/200	SOT89	TriQuint
AH202	18	3	30	12	42	25	11/330	QPF 6x6	TriQuint
TQP3M9008	23	1,2	20	-3	37	14	5/085	SOT89	TriQuint
TQP3M9009	17	1,4	21	-5	37	10	5/125	SOT89	TriQuint
CXE-2089Z	20	1,2	24	4	34	14	7/195	SOT89	RFMD
SPF-5189Z	20	1	22	2	40	20	5/090	SOT89	RFMD
MAG-30889	16	2	21	5	37	26	5/065	SOT89	AVAGO

3. Analyse und Abschätzung eines realistischen Frontend

3.1 Kenngrößen eines guten Empfängers

Allgemeine Kennwerte eines gutes Kurzwellen-Empfänger-Frontend (für mich):

$IP3=35\text{dBm}$, $F=12\text{ dB}$

für $B=2,4\text{ kHz}$ gilt dann:

Minimum detectable Signal (auch Rauschfloor):

$MDS = -174 + 10\log 2,4k + F = -128,2\text{ dBm}$

Intermodulationfreier Dynamikbereich:

$D_{IM3} = 2/3(IP3-MDS) = 108,8\text{ dB}$

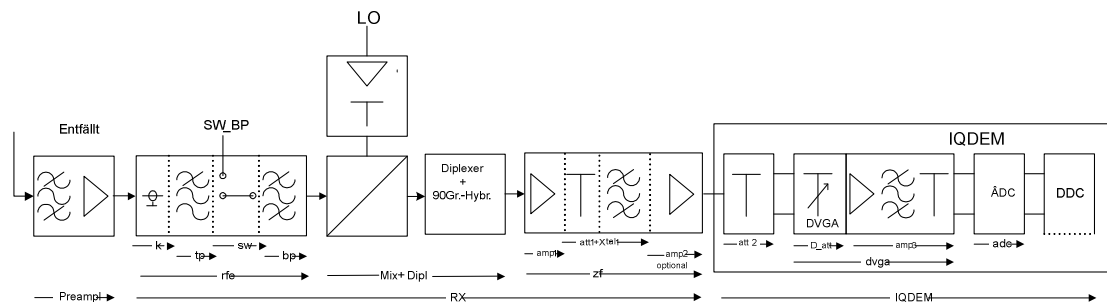
Maximale Eingangsleistung ohne Regelung:

$Pe_{max} = MDS - D_{IM3} = -128,2 + 108,8 = -19,4\text{ dBm}$

3.2 Abschätzung für Bavarix-Frontend

3.2.1 Blockschaltbild

Das folgende Bild zeigt ein allgemeines Blockschaltbild mit einer Frequenzumsetzung und anschließender Digitalisierung. Der IQ-Demodulator IQDEM beinhaltet ein DVGA (Digital Voltage Gain Amplifier), ADC (Analog Digital Converter) und ein DDC (Digital Down Converter).



3.2.2 Einfluss des DA-Wandler

Im Bavarix wird ein ADC14DS080 eingesetzt. Dies ist ein dualer 14-Bit Converter mit einer maximalen Abtastfrequenz von 80 MHz.

Aus dem Datenblatt ergibt sich für 45 MHz ein Signal Noise Ratio SNR von 74 dBFS.

Durch die Überabtastung unseres 2,4 kHz SSB-Signal mit 52 MHz ergibt sich ein Prozess-Verarbeitungsgewinn:

$$V_{\text{Proz}} = 10 \log (\text{Abtastrate}/(2*\text{Bandbreite})) = 10 \log(52\text{MHz}/(2*2,4\text{kHz})) = 40,3 \text{ dB}$$

Damit verbessert sich SNR um diesen Wert.

$$\text{SNR}_{\text{Proz}} = \text{SNR} + V_{\text{Proz}} = 114,3 \text{ dB}$$

Eine weitere wichtige Kenngröße ist der maximale Eingangspegel (FS = Full Scale) für den ADC. Aus dem Datenblatt ergeben sich ein Eingangswiderstand von 200 Ohm und ein maximaler Pegel von 2VSS.

Mit $P = U^2/R$ und $U_{\text{eff}} = U_s / 1,414$ sowie $P[\text{dBm}] = 10 \log(P/1\text{mW})$ ergibt sich ein maximaler Eingangspegel:

$$P_{\text{e,max}} = 4 \text{ dBm bzw. } P-1\text{dBFS} = 3 \text{ dBm.}$$

Der Rauschfloor RF liegt dann bei $P_{\text{e,max}} - \text{SNR} = 4 - 114,3 = -110,3 \text{ dBm}$

und das Rauschmaß ergibt sich zu :

$$\text{NF}_{\text{DAC}} = \text{RF} - (-174) - 10 \log B = -110,3 + 174 - 33,8 = 29,9 \text{ dB}$$

3.2.3 DVGA

Im Bavarix kommt ein DVGA LMH6514 von NS zum Einsatz, der die komplette Regelung des Empfängers übernehmen soll. Der Regelumfang beträgt 42 dB in Schritten zu 6 dB. Der Verstärker selbst kann von -12 bis 30 dB verstärken.

3.2.4 Excel-Rechensheet

Um alle Variablen für ein Frontend rechnerisch zu erfassen wurde ein Excel-Sheet verwendet, indem alle Formeln für die Analyse erfasst sind.

Das Beispiel zeigt den Pegelplan für ein aktuelles Design mit 2x MAG-30889. Alle gelben Felder sind Eingabefenster für Verstärkung, Dämpfungswerte, Rauschmaß und AD-Wandler spezifische Kenngrößen. Blau unterlegt sind die Pegelwerte für ein Blocker-Signal und ein Nutzsignal, sowie die Selektionwerte des Filters. Im roten Feld sieht man das SNR des Nutzsignals sowie den Headroom des Störers zum maximalen Pegel am ADC-Eingang. In den grünen Kästchen sind die Ergebnisse markanter Parameter wie Rauschmaß und Dynamikbereich. Im Anschluss an das Rechensheet sind die graphischen Darstellungen für maximale und minimale Verstärkung des DGVA gezeigt.

Es gibt weitere Sheets für Intermodulation, 1dB-Kompression und maximale Pegelwerte für das Nutzsignal.

Yellow fields are input fields	not used		MGA30889						MGA30889			DVGA	LMH6514	ADC14DS080
	pe	preamp	k	tp	sw	bp	mix	amp1	att1+x-tal	amp2	att2	d_att	amp3	adc
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
v_x(typ)		0,0	-0,5	-1,0	0,0	-1,0	-7,0	16,0	-5,0	16,0	-12,0	-1,0	23,0	0,0
F_x(typ)		0,0	0,5	1,0	0,0	1,0	7,0	2,0	5,0	2,0	12,0	1,0	8,5	29,9
Summe(v_x)		0,0	-0,5	-1,5	-1,5	-2,5	-9,5	6,5	1,5	17,5	5,5	4,5	27,5	27,5
Summe(F_x)RX		0,00	0,50	1,50	1,50	2,50	9,50	11,50	11,65	11,77	11,84	11,86	12,43	12,84
Rauschsockel														
RX: F(O22)	-127,4	-127,4	-127,9	-128,9	-128,9	-129,9	-136,9	-120,9	-125,9	-109,9	-121,9	-122,9	-99,9	-99,9
Amp1							-138,2	-122,2	-127,2	-111,2	-123,2	-124,2	-101,2	-101,2
Amp2									-138,2	-122,2	-134,2	-135,2	-112,2	-112,2
DVGA												-131,7	-108,7	-108,7
ADC (Quant + v_Proz)	Blocker = - 0,5 dBFS										ADC_q =		-110,3	-110,3
	-													-
	-						Selektion =		-60,00		0,00			-
Blocker: +-20kHz	12	12,00	11,50	10,50	10,50	9,50	2,50	18,50	-46,50	-30,50	-42,50	-43,50	-20,50	-20,50
Nutzsignal_BI20kHz	-120	-120,00	120,50	121,50	121,50	122,50	129,50	-113,50	-118,50	-102,50	114,50	115,50	-92,50	-92,50
Summe(v_x)RX				-1,0	-1,0	-2,0	-9,0	7,0	2,0	18,0	6,0	5,0	28,0	28,0
F_x(typ)RX				1,0	0,0	1,0	7,0	2,0	5,0	2,0	12,0	1,0	8,5	29,9
Summe(F_x)RX				1,00	1,00	2,00	9,00	11,00	11,15	11,27	11,34	11,36	11,93	12,34
pe_max (ADC=-1 dBFS)	-24,5	-24,5	-25,0	-26,0	-26,0	-27,0	-34,0	-18,0	-23,0	-7,0	-19,0	-20,0	3,0	3,0

S / Nutzsignal_BI_20k		7,4	dB			F0:	-174,0	dBm/Hz				
Headroom20k		23,50	dB	v_Proz=10log(Abtastrate/2b)	v_Proz	40,3	dB	b:	2,4	kHz	33,8	dB

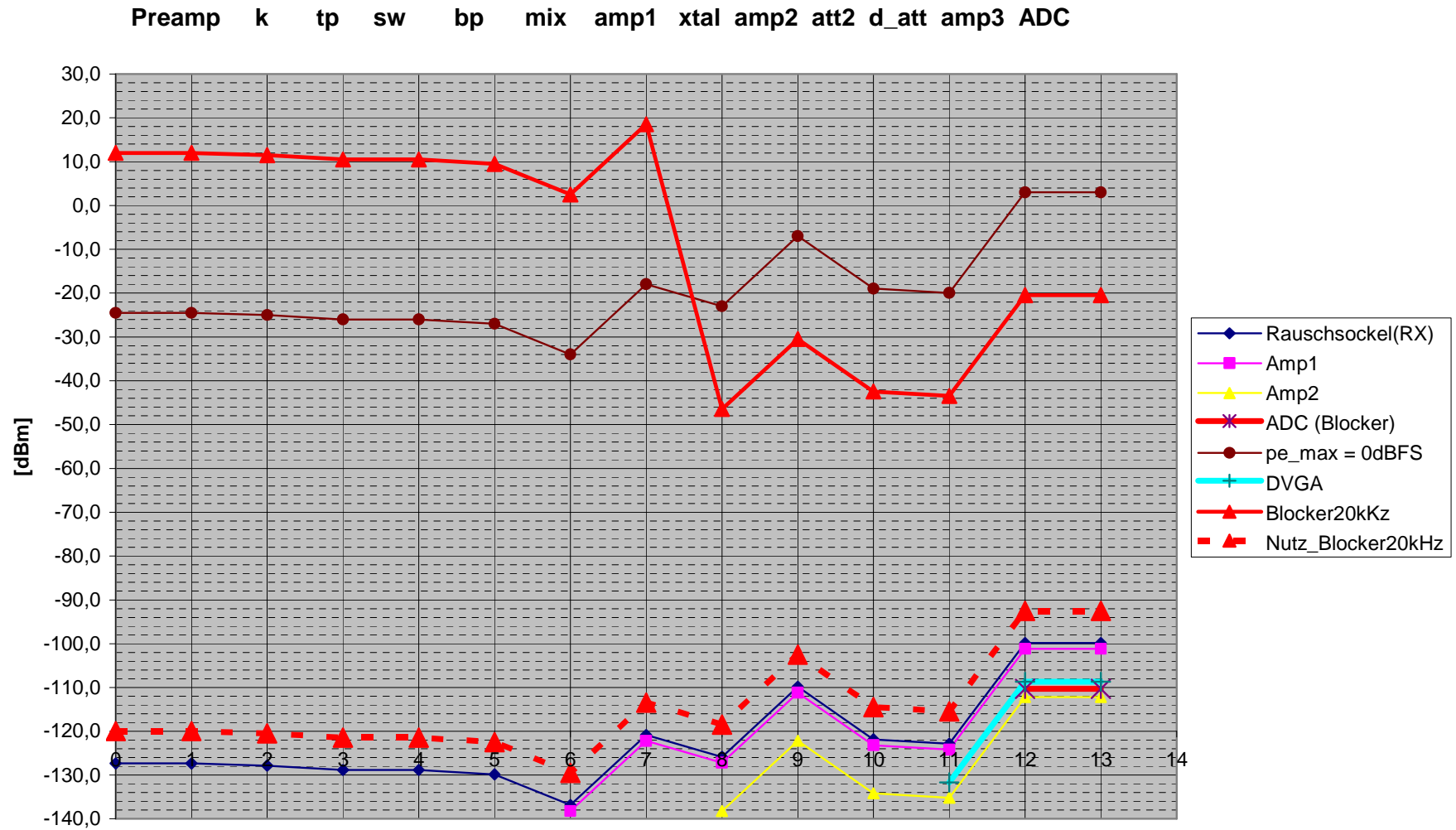
ADC: Ri = 200 Ohm 14 Bit Ue(max) = 2Vss pe(max) = 4,0 dBm

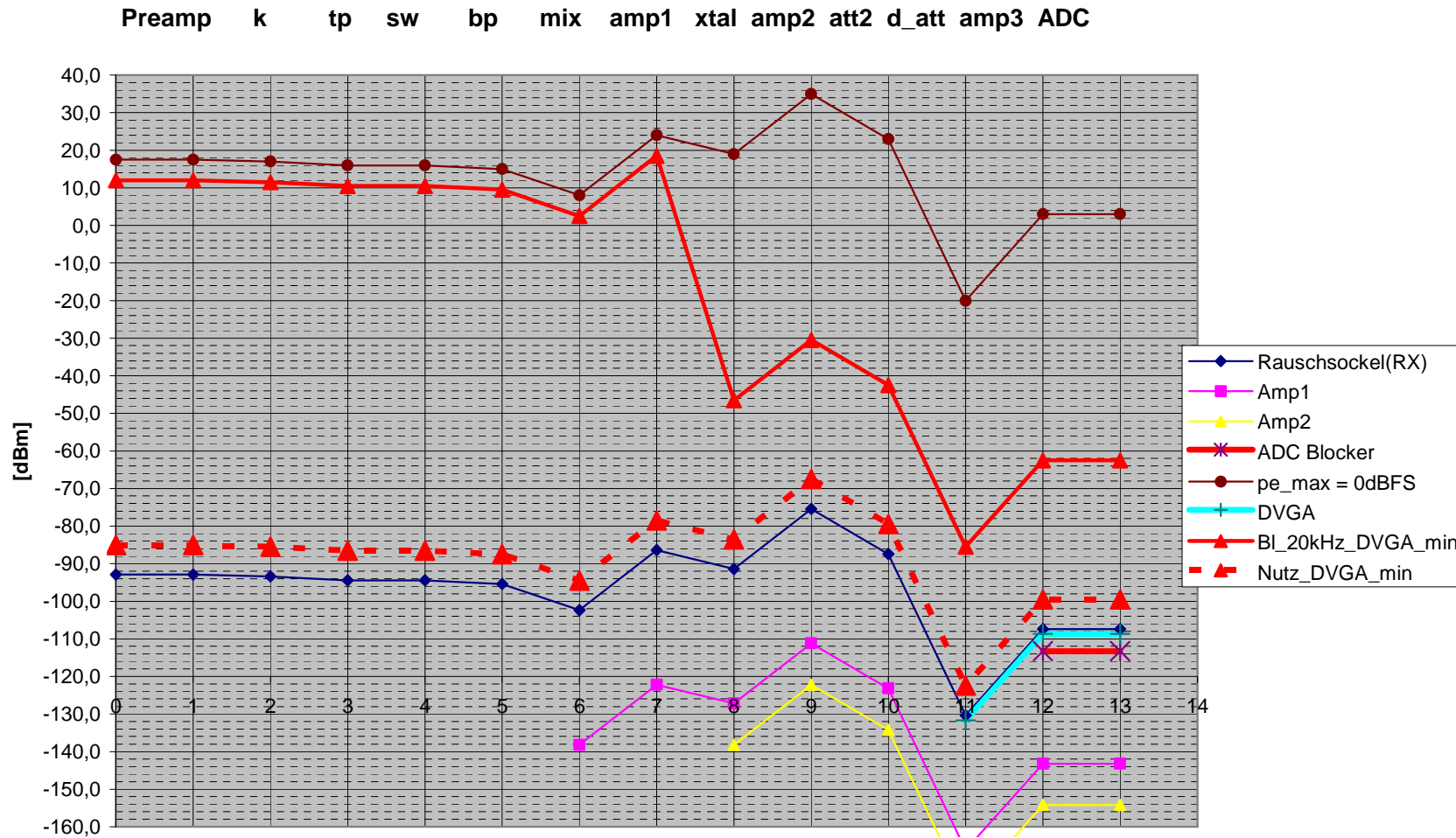
SNR -74,0 dBc

SNR_Proz -114,3 dBc

Dynamik = 102,9 dB

F (att2 + DVGA(max)+adc)	=	28,4	dB	Messung:	
--------------------------	---	------	----	----------	--





3.2.5 Übersicht der Analyse

RX-Kenndaten

		Amp1	Amp2	NF[dB]	MDS[dBm]	Dyn. ADC[dB]	Pe_Blocker20kHz	Pe_Blocker20kHz	Pe_Blocker20kHz	Pe_IP3[dBm]	Dyn. IP3[dB]	Pe_max[dBm]	Dyn. Gesamt[dB]
							DVGA max[dBm]	DVGA min[dBm]	1dBKompr[dBm]				
1	Empf optimal	x	x	12,0	-128,0	104,5	20,0	20,0	20,0	-15,0	113,0	6,5	134,5
2	2xJ310 Eigenbau	x	x	13,0	-127,1	104,7	20,0	20,0	14,0	-26,0	101,1	7,5	134,6
3	2xSPF-5189Z	x	x	12,0	-128,3	103,8	10,0	10,0	10,0	-25,0	103,3	5,5	133,8
4	1xAH202	x		13,9	-126,3	103,8	20,0	20,0	20,0	-20,0	106,3	7,5	133,8
5	1xAH31	x		14,0	-126,2	102,7	10,0	10,0	10,0	-20,0	106,2	6,5	132,7
6	1xAH202,1xAH31	x	x	13,6	-126,6	101,1	20,0	20,0	20,0	-20,0	106,6	5,5	132,1
7	1xTQP3M9008	x		12,0	-128,2	103,7	5,0	5,0	5,0	-28,0	100,2	6,5	134,7
8	1xSPF-5189Z	x		12,5	-127,7	105,2	10,0	10,0	10,0	-23,0	104,7	9,5	137,2
9	1xMGA-30889	x		13,9	-126,3	105,8	12,0	12,0	12,0	-20,0	106,3	9,5	135,8
10	2xMGA-30889	x	x	12,8	-127,4	102,9	12,0	12,0	12,0	-20,0	107,4	5,5	132,9
11	1xSPF-5189Z		x	16,0	-124,2	99,7	20,0	20,0	20,0	-14,0	110,2	3,5	127,7

3.2.6 Auswahl für den Bavarix

Zeile 1 aus der Übersicht zeigt die Wunschliste, Zeile 2 das aktuelle Design mit 2 J310-Verstärker.

Rot unterlegt zeigt die schlechtesten Werte, Grün die besten. Ein guter und wohl auch die preisgünstigste Lösung ist ein Kompromiss in Zeile 7 mit 2x MGA-30889 Gain-Blocks, dazu ist ein Dämpfungsglied mit 10-12 dB nach dem 2. Verstärker zwingend notwendig.

Eine weitere Lösung scheint mir den zweiten Verstärker abschaltbar zu machen bei nur 1 dB Rauschmaßverschlechterung. Der Gewinn ist 3 dB Verbesserung in der Dynamik. Will man auf den 2. Verstärker ganz verzichten, gibt es dann allerdings im System keine Möglichkeit mehr, Verluste die in der Konzeptionierungsphase übersehen wurden, auszugleichen.

Noch eine Anmerkung zum Blockerpegel. Es wird wohl nur ganz selten vorkommen, dass Pegel in dieser Größenordnung am Empfängereingang anliegen. Es ist ein Rechenwert für die aktiven Bauelemente. In der Regel bei guter Vorselektion sind kaum Pegelwerte > -6 dBm am Antenneneingang zu erwarten.