

Untersuchung zur Clock-Aufbereitung des Bavarix Synthesizers

1. Vorbemerkung

Nachdem ich für einige Zeit einen besseren Phasenrauschmessplatz (E5052A von Agilent) zur Verfügung hatte, habe ich nochmals die aktuelle Clockaufbereitung für unseren Bavarix durchgemessen. Zu den Messwerten soll kurz auf die dynamischen Zusammenhänge eines optimalen Empfängers bezüglich Intermodulation und Phasenrauschen des Synthesizers eingegangen werden.

2. Phase Noise Requirements nach PA3AKE

PA3AKE stellt auf seiner HP [1] seinen DDS Synthesizer vor, dazu macht er auch Angaben zur Berechnung des Phasenrauschen eines optimalen Synthesizer, wenn die dynamischen Eigenschaften des Empfängers durch das reziproke Mischen des Seitenbandrauschen des LO's im Empfangsband nicht schlechter sein sollen als die Intermodulationprodukte durch Intermodulation 3. Ordnung.

Ausgehend vom IMD3DR (intermodulationfreier Dynamikbereich) eines Empfängers wird die resultierende Anforderung für das LO-Phasenrauschen berechnet. Dazu ist der IP3 des Frontend eines Empfängers maßgebend.

$$\text{IMD3DR} = (\text{IP3} - \text{MDS}) * 2/3$$

MDS = minimum discernable signal = Rauschfloor eines Empfängers auf die Bandbreite bezogen = $-174 + 10 \log B + \text{NF} = -174 + 33,4 + 10 = -130,6 \text{ dBm}$
 bei $B = 2,2 \text{ kHz}$ (SSB) $\text{NF} = \text{Noise Figure}$ oder Rauschmaß = 10 dB

Beispiel: Bei einem IP3 von 45 dBm errechnet sich der IMD3DR zu 117,0 dB

Das resultierende Phase Noise für den Synthesizer ist dann

$$\text{PN} = - \text{IMD3DR} - 10 \log B = -117 - 33,4 = -150,4 \text{ dB/Hz}$$

Abhängig von der Bandbreite und der Flanke des 1. Filter im Frontend variiert der IMD3DR im Bereich 500 Hz bis 20 kHz. Deshalb wird oft auch von Inband und Outband IMD3DR gesprochen.

Abschätzung der Anforderung für unseren Bavarix.Synthesizer:

Dynamikbereich des Digitalteils nach dem Frontend : 105 dB

IP3 des Frontend 40 dBm

Filterbandbreite im Frontend 6 kHz

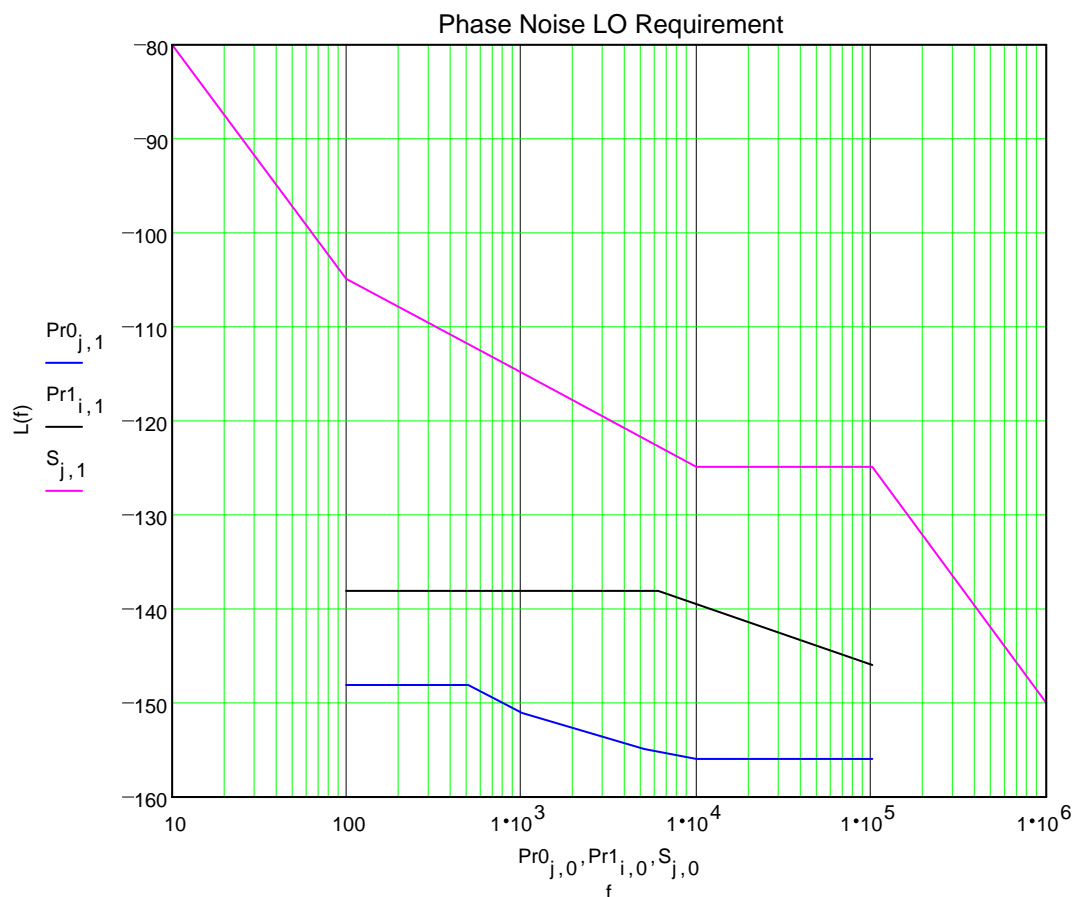
$\text{IMD3DR}_{\text{Frontend}} = (40 + 130,6) * 2/3 = 113,7 \text{ dB}$ d. h. unser Frontend verschlechtert nicht den Dynamikbereich.

$$\text{PN} = - 105 - 33,4 = -138,4 \text{ dB/Hz}$$

Der folgende Plot zeigt die Synthesizeranforderung des Seitenbandrauschen für den Synthesizer im Vergleich zu der Forderung von PA3AKE. Diese Anforderung bezieht sich auf CW mit einem Roofing-Filter von 600 Hz. Diese Spezifikation ist extrem schwer zu erreichen und man wird sehen, was mit dem 1GHz DDS erreicht wird.

Das optimale Phasenrauschen für den Bavarix-Synthesizer zeigt die mittlere Darstellung. Bei einem Filter von 6 kHz liegt der min. Wert bei -138 dB/Hz mit abfallenden Werten außerhalb des Roofing-Filters. Die alte Spezifikation, die ich ursprünglich definiert habe, resultiert aus der Erfahrung mir bekannter Phasenrauschwerten von früheren Veröffentlichungen bekannter Amateurgeräten und daraus abgeleiteten Wunschspezifikation.

1. Phase Noise Requirement PA3AKE
2. Phase Noise Anforderung für Bavarix Synthesizer
3. Spezifikation Bavarix Synthesizer

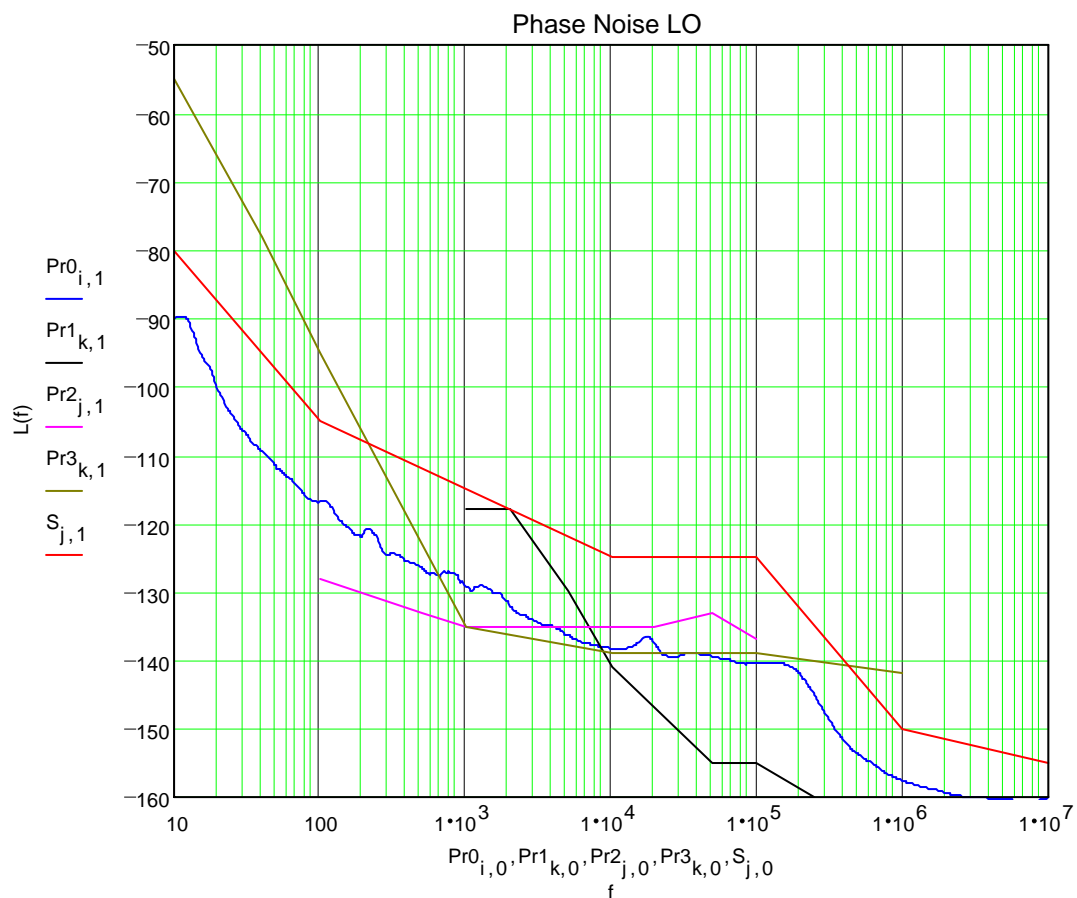


3. Phasenrauschen verschiedener Synthesizer

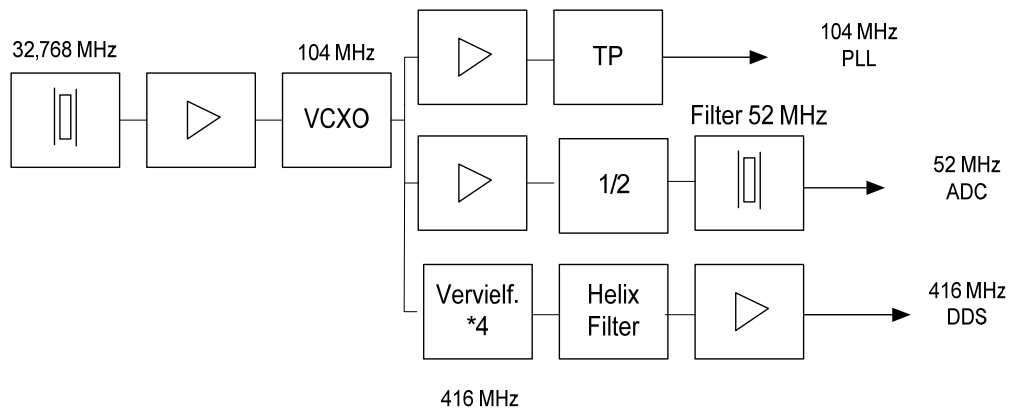
Ausgehend von den obigen Überlegungen habe ich die mir bekannten Synthesizer in einem Plot zusammengestellt. Bei Vergleichen muss man berücksichtigen, dass die ZF unterschiedlich ist, dementsprechend die LO-Frequenzen und entsprechend ein Korrekturfaktor $F = 20 \log (F1/ F2)$ berücksichtigt werden sollte.

Phase Noise Plot verschiedener Synthesizer

- | | | |
|--|--------------------------------|-------------|
| 1. Bavarix | F = 51,13 MHz für 40m Band | ZF = 45 MHz |
| 2. CDG2000 | Freq. nicht bekannt | ZF = 9 MHz |
| 3. Orion 565 | Freq. nicht bekannt | ZF = 9 MHz |
| 4. Star 10 | F = 100 MHz für F_Rx = 25 MHz; | ZF = 75 MHz |
| 5. ursprüngliche Spezifikation Bavarix Synthesizer | | |



4. Aktuelle Clockaufbereitung



Clockaufbereitung Bavarix

5. Phasenrauschen Clockaufbereitung

Nachdem mir nun das trägernaher Phasenrauschen der Frequenzaufbereitung bekannt ist, stellt sich auch gleich die Frage nach Optimierungsmöglichkeiten und der daraus resultierende zusätzliche Aufwand.

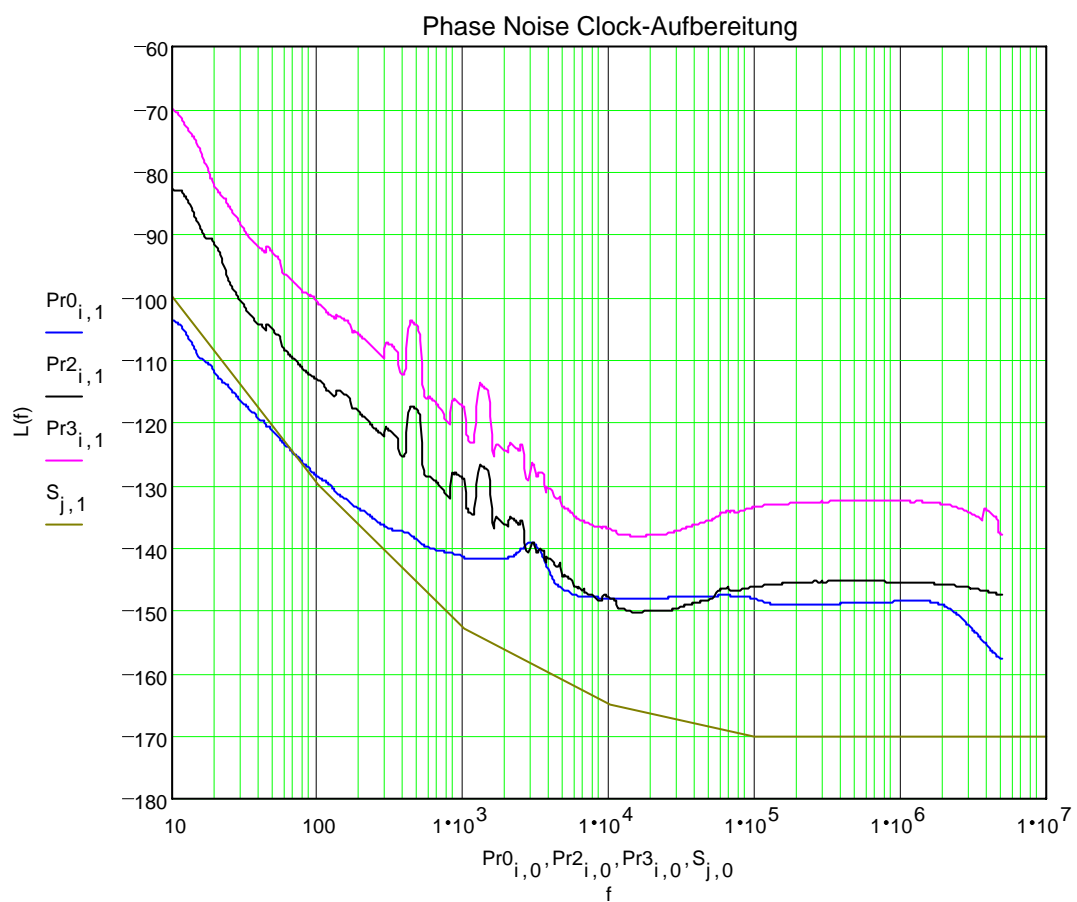
Im Plot sind nacheinander aufgetragen das sind das Phasenrauschen des OCXO bei 32,768 MHz, der 110 MHz VCXO und der vervierfachte Clock für den DDS. Die vierte Kurve zeigt die Spezifikation eines 100 MHz OCXO von KVG, der in etwa den Stand der Technik zeigt, allerdings auch preislich im oberen Sektor angesiedelt ist (450 €).

Gegenüber den 104 MHz mit VCXO und Anbindung an den OCXO bei 32,768 MHz zeigt das Referenzmodell durchweg 20 dB bessere Werte für das Phasenrauschen, der 416 MHz Clock 12 dB mehr, was auch der Theorie entspricht.

Im 2. Plot ist der Einfluss eines 52 MHz Filters zu sehen, der das Weitabstrahlen verbessert.

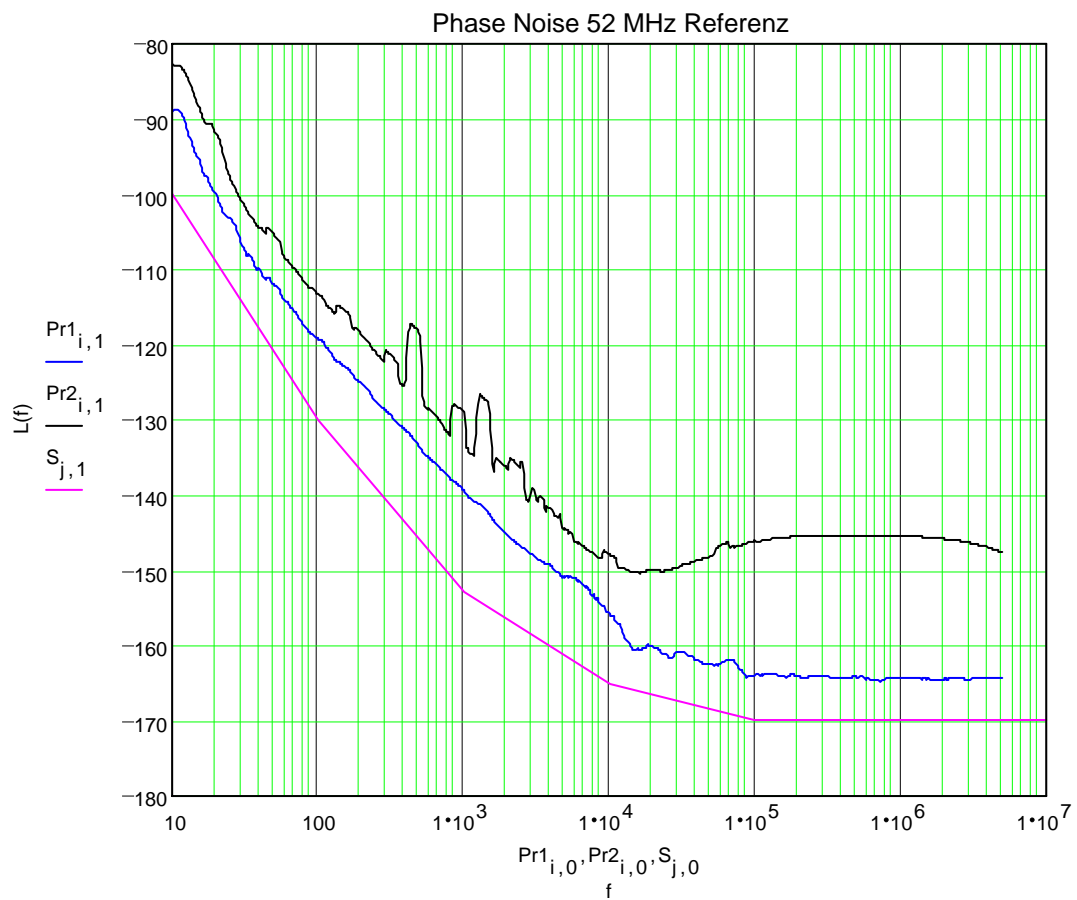
Phase Noise Clock-Aufbereitung Bavarix

1. Pr0: OCXO 32,768 MHz
2. Pr2: VCXO 104 MHz
3. Pr3: CLOCK 416 MHz
4. S: Spezifikation OCXO 100 MHz KVG



Phase Noise Clock-Aufbereitung Bavarix

1. Pr1: Clock 52 MHz
2. Pr2: VCXO 104 MHz
4. S: Spezifikation OCXO 100 MHz KVG

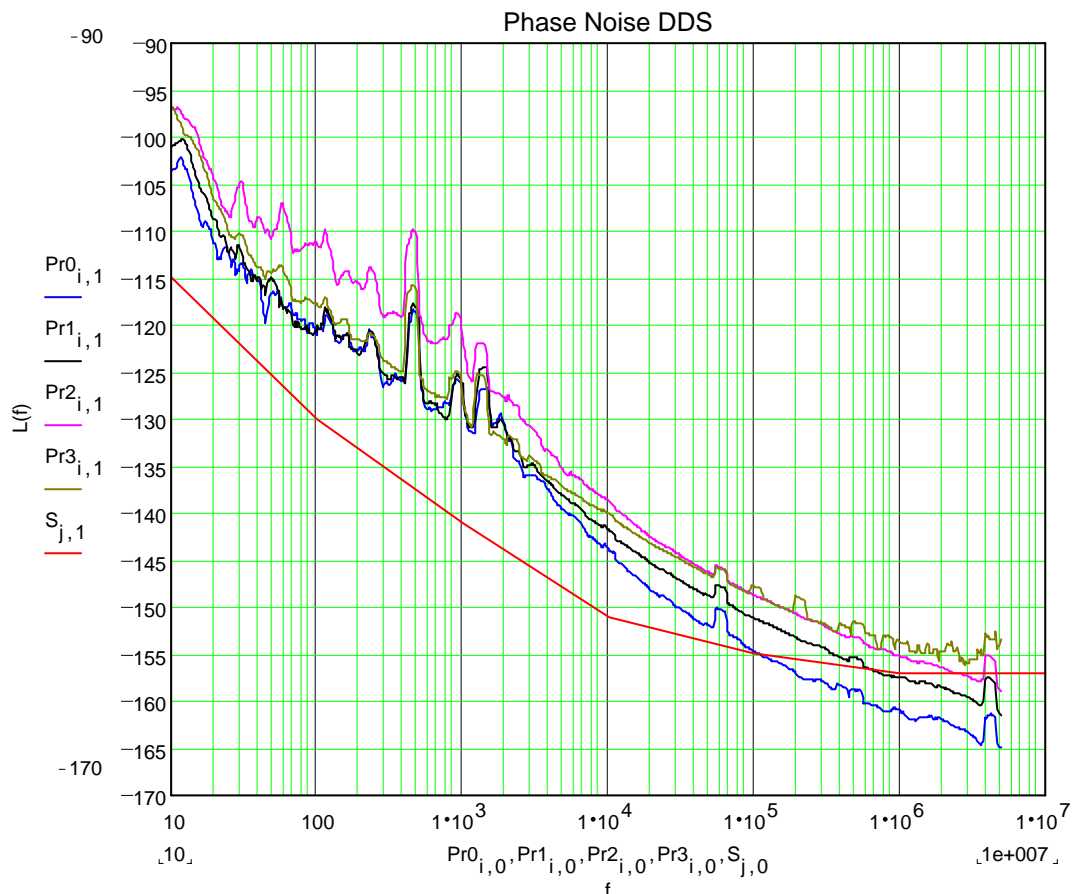


6. Messung Phasenrauschen DDS AD9951

Hier habe ich noch mal das Phasenrauschen verschiedene Ausgangsfrequenzen des DDS-IC AD9951 geplottet, die als Referenz für die PLL1 in Frage kommen. Im Vergleich dazu steht die Spezifikation aus dem Datenblatt, die fast durchweg 10 dB besser sind als hier gemessen. Leider konnte ich aus dem Datenblatt die Messanordnung nicht finden. Ich gehe aber davon aus, dass die dort verwendete 100 MHz-Referenz eben um den Faktor 10^{-15} besser ist.

Phase Noise DDS mit 416 MHz Clock , Clock = $4 \cdot 10^4$ MHz

1. F1 = 10 MHz
2. F2 = 15 MHz
3. F3 = 20 MHz
4. F4 = 20,1 MHz
5. Spezifikation aus Datenblatt AD9951; F = 9,5 MHz



7. Zusammenfassung

Ich habe versucht zu zeigen, wie die Anforderungen an das Phasenrauschen eines Synthesizers in einem Empfänger mit hohem Eingang-IP3 des Frontends steigen. Aktuell kann das bisher für den Bavarix entstandene Labormuster gut mit anderen Synthesizern mithalten. Trotzdem bestehen Verbesserungsmöglichkeiten, wenn eine Referenz hoher Qualität verwendet wird. Besonders im Bereich von 10 Hz bis 10 kHz könnte noch mal eine deutliche Verbesserung von 5-10 dB erreicht werden, was dem optimalen Wert von -138 dB/Hz in diesem Frequenzbereich sehr nahe kommt. Das ist natürlich zunächst nur Theorie und wie schon erwähnt alles hat auch seinen Preis.

[1] http://www.xs4all.nl/~martein/pa3ake/hmode/dds_dynamic_range.html