

## Software Defined Radio und ADC - wie viel Bit Abtasttiefe sind genug?

Von OSA103 Mini bis HERMES stehen dem engagierte und experimentell orientierten SDR Nutzer mittlerweile eine Vielzahl von Systemen zur Verfügung, die mit unterschiedlichen Analog Digital Convertern (ADC) ausgestattet sind. Die Abtasttiefe reicht von 8 Bit bis 16 Bit. Stellt sich die Frage: „Wie viel Bit sind genug?“

Vorher aber noch eine kurze Erläuterung von ein paar Schlüsselbegriffen.

### Dynamikbereich (DR) und Anzahl der Bit

Theoretisch oder idealtypisch bekommt man pro Bit Abtasttiefe 6,02dB Dynamikbereich (DR). DR ist hier die Spanne von der kleinstmöglichen Ansprechschwelle des ADC bis zu seiner maximalen Aussteuerung (alles über diesem Pegel wird mit einem konstanten Wert versehen - der ADC verhält sich wie ein Begrenzer. Die Software zeigt Overload (OVL oder Overflow bei ICOM) an. Den DR nicht verwechseln mit IMD DR3 oder SFDR - dies ist der Intermodulationsfreie Dynamikbereich!

### ENOB

Dieser idealtypische Wert von rd. 6dB/Bit wird aber nicht erreicht - u.a. ist das sog. Quantisierungsrauschen dafür verantwortlich, das die ersten Bit der Digitalisierungstreppe nicht oder nur unzuverlässig genutzt werden (u.a. Ursache für die bekannten paradoxe Effekte bei der Messung des IMD DR3 mit kleinen Signalen). Deshalb kann aus den Daten der Hersteller der ADC zum Rauschverhalten (SINAD oder falls nicht angegeben SNR) die effektiv wirksame Anzahl an verwertbaren Bit berechnet werden. Sie wird als **Effective Number Of Bits** bezeichnet. Beim Vergleich unterschiedlicher ADC macht deshalb die Ermittlung des ENOB Sinn. Denn mit der einfachen Rechnung  $ENOB = (SINAD - 1,76) / 6,02$  [Bit] kann der zu erwartenden Dynamikbereich ermittelt werden:  $DR = ENOB \times 6,02$  [dB].

Hier eine Zusammenstellung aktueller Systeme. Die SINAD Angaben stammen aus den Datenblättern der Hersteller.

### ENOB und Vergleich Dynamikbereich (DR) gegenüber LTC2208

	OSA104 AD9288	RedPitaya (10bit) LTC2281	HERMES-LITE AD9866	RedPitaya (14bit) LTC2145-14	HERMES II LTC2145-14	ODYSSEY 2 LTC2165	HERMES LTC2208
Sampling Rate	200MSps	125MSps	80MSps	125MSps	122,88MSps	122,88MSps	122,88MSps
NOB [bit]	8	10	12	14	14	16	16
SINAD [dB]	47	61,5	62,9	73,1	73,1	76,6	77,7
ENOB [bit]	7,5	9,9	10,2	11,8	11,8	12,4	12,6
Delta ENOB zu HERMES [bit]	5,1	2,7	2,4	0,8	0,8	0,2	-
Differenz DR zu HERMES [dB]	30,7	16,2	14,8	4,6	4,6	1,1	-

### Anmerkungen:

RedPitaya und vor allem OSA103 sind nur mit zusätzlicher Hardware als SDR zu nutzen. Sie sind konzipiert als Messsysteme (u.a. DSO, SA, VNA).

**OSA103:** Hier habe ich Auskünfte des Erbauers genutzt. Der AD9288 verfügt über 2 ADC, die parallel geschaltet sind und durch den Interleave-Betrieb die effektive Abtastrate auf 200MSps verdoppelt. Es ist zudem mit einem Gewinn im Dynamikbereich zu rechnen - so dass der ENOB sich erhöhen kann. *Diesen Effekt habe ich aber nicht eingerechnet - erst Messungen an der Platine werden Klarheit bringen.*

Interessant ist zudem, dass für den HF-Generator (TX im SDR) kein DAC-Baustein genutzt wird, sondern ein 12-bit R/2R Widerstandsnetzwerk. Auch hier werden Messungen Aufschluss über die spektrale Reinheit dieser kostengünstigen Lösung bringen.

**RedPitaya (14bit):** Der LTC2145-14 ist ein 14-bit Dual-ADC, der mit 125MSps getaktet wird.

**RedPitaya (10bit):** Ich vermute, dass der LTC2281 genutzt wird - eine Bestätigung fehlt mir noch. Der gute SINAD-Wert führt zu einer hohen ENOB. Für RedPitaya gilt, dass bei Nutzung OpenHPSDRPowerSDR ein Resampling auf 122,88MSps durch die Firmware erfolgt.

**HERMES II:** Hier wird ebenfalls der LTC2145-14 genutzt, der mit 122,88MSps getaktet wird.

**HERMES-LITE:** Der AD9866 stellt eine Kombination aus ADC und DAC dar.

**ODYSSEY 2:** Dieser Aufbau nutzt zwei 16bit ADC vom Typ LTC2165.

### **Differenzen im Dynamikbereich im Vergleich zum LTC2208 (HERMES)**

**1dB bis 5dB Verlust:** Was bedeutet der Verzicht auf 1,1dB bzw. 4,6dB Dynamikbereich für ODYSSEY 2, HERMES II bzw. RedPitaya (14bit) in der Praxis? Kurz gesagt, sie spielen keine bzw. keine nennenswerte Rolle. Zudem muss beim Leistungsvergleich der Systeme das *Gesamtsystem* betrachtet werden, weshalb z.B. eine pauschale Gleichsetzung von ODYSSEY 2 mit HERMES bzw. HERMES II und RedPitaya (14bit) nicht angemessen ist. So spielt die Qualität u.a. der verwendeten Taktoszillatoren mit Ihrem Seitenbandrauschen, der Vorverstärker, elektronische Schalter, Filter sowie die Übersprechdämpfung der ADC-Pfade (Layout!) eine wichtige Rolle.

**14dB bis 16dB Verlust:** Auch hier gilt das vorstehend ausgeführte, das *Gesamtsystem* wird die Praxistauglichkeit bestimmen. Allein die Minderung des Dynamikbereichs um rund 15dB wird in der realen Welt sich nur sehr selten negativ auswirken - auch mit diesen Systemen lassen sich leistungsfähige SDR aufbauen.

**Rund 30dB Verlust:** Die Minderung des Dynamikbereichs um 30dB wird immer dann auffallen, wenn Großsignalfähigkeit besonders gefordert sein wird. Mit zu erwartenden rund 60dB IMD DR3 bekäme man Empfängereigenschaften bzgl. des Großsignalverhaltens, wie sie vor 30 Jahren mit analogen Tranceivern an der Tagesordnung waren. Der Nutzer dieser Systeme wird den zur Verfügung stehenden Dynamikbereich durch Einsatz von Abschwächern zu Gunsten der Verarbeitung großer Signalamplituden verschieben müssen - sollte die Empfangssituation dies erfordern.

**Wie viel Bit Abtasttiefe sind genug?** Meine Antwort lautet, dass für ein leistungsfähiges SDR-System 14 Bit völlig ausreichen und auch ein 12 Bit System in einem auf hohe Leistung konzipiertem *Gesamtsystem* genug sein können. Von einem in gleicher Weise auf der Basis eines 10 Bit ADC aufgebautem SDR sind ebenfalls ansprechende Leistungen zu erwarten. Ein 8 Bit System fällt demgegenüber deutlich ab.

### **Literatur/Quellen**

1. Datenblätter der Hersteller
2. Walt Kester (Editor) „*The Data Conversion Handbook*“ - Publikation von Analog Devices
3. *Tutorials* von Analog Devices, z.B. MT-001