

Aktueller Projektstand

ENAMS – Messsystem für HF-Störungen 100 kHz...30 MHz

Klaus H. Eichel, DL6SES
Jörg Logemann, DL2NI

Der DARC hatte sich Ende 2017 entschieden, ein flächendeckendes System zur Ermittlung der Störsignalstärken im Frequenzbereich von 100 kHz bis 30 MHz zu erstellen. Dieser Beitrag gibt den aktuellen Stand der Entwicklungsarbeit wieder.

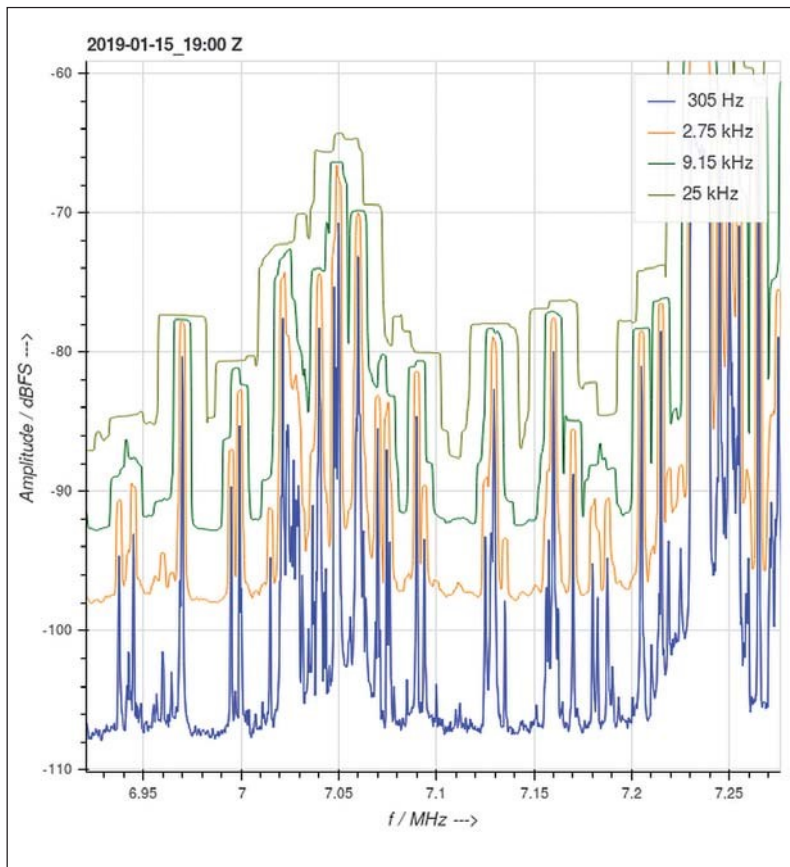


Bild 1: Exemplarische Aufzeichnung des Rauschens

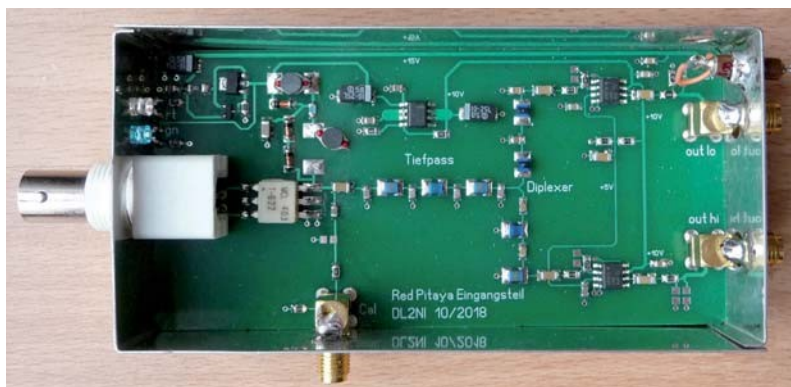


Bild 2: HF-Eingangsteil für den Red Pitaya

Das „Electrical Noise Area Monitoring System“ (ENAMS) wird aus vielen Empfangsstellen, die flächendeckend in Deutschland errichtet werden, bestehen. Diese liefern die gemessenen Werte zyklisch an den Rechner der Auswertestation, und dort werden sie in einer Datenbank abgelegt. Damit entsteht ein System zur Langzeit-Beobachtung, mit dem die Entwicklung der Störsituation oder damit auch der „Man-made Noise“ dargestellt und dokumentiert werden.

Das Messverfahren

Der Red Pitaya wird als Empfänger mit einer Auflösungs-Bandbreite von 305 Hz betrieben. Mit dieser Bandbreite lässt sich auch in stark belegten Frequenzbereichen der Rauschsumpf, natürlichen Ursprungs oder von störender Elektronik verursacht, ermitteln. Mit erheblich größeren Messbandbreiten würden die tatsächlich vorhandenen Lücken in stark belegten Rundfunkbändern bis zum Rausch-/Störungssumpf nicht darzustellen sein.

Bild 1 zeigt ein von Michael Hartje, DK5HH, mit dem Red Pitaya im ENAMS-System aufgenommenes Spektrum mit verschiedenen Bandbreiten. Die im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz genormte Messbandbreite von 9 kHz ergibt sich aus der Zusammenfassung von 30 frequenzmäßig benachbarten Messwerten, ebenso wie die SSB-Bandbreite von 2,4 kHz aus acht Messwerten besteht. Gemessen wird der Leistungsmittelwert über 1 s Messzeit, d.h. die spektrale Leistungsdichte. Ein kompletter

Tabelle

| Eingangspegel | IM-Abstand | IP3 |
|---------------|------------|-----------|
| 2 × -30 dBm | 68 dB | +4 dBm |
| 2 × -20 dBm | 72 dB | +16 dBm |
| 2 × -10 dBm | 71 dB | +25,5 dBm |
| 2 × -3 dBm | 65 dB | +29,5 dBm |

Tabelle 1: Intermodulation, $f_1 = 11,05$ MHz, $f_2 = 11,1$ MHz (nur RP o. Vorverstärker)

Die Autoren erreichen Sie unter: Jörg Logemann, DL2NI, dl2ni@dar.de und Klaus Eichel, DL6SES, dl6ses@dar.de



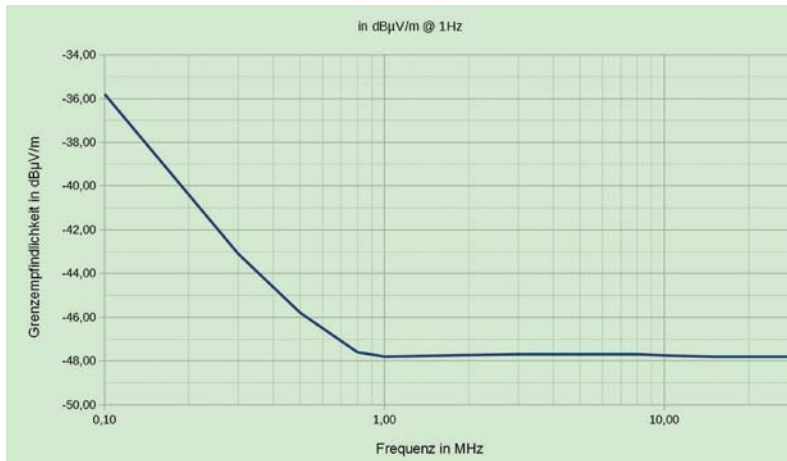


Bild 3: Grenzeempfindlichkeit der ENAMS-Antenne

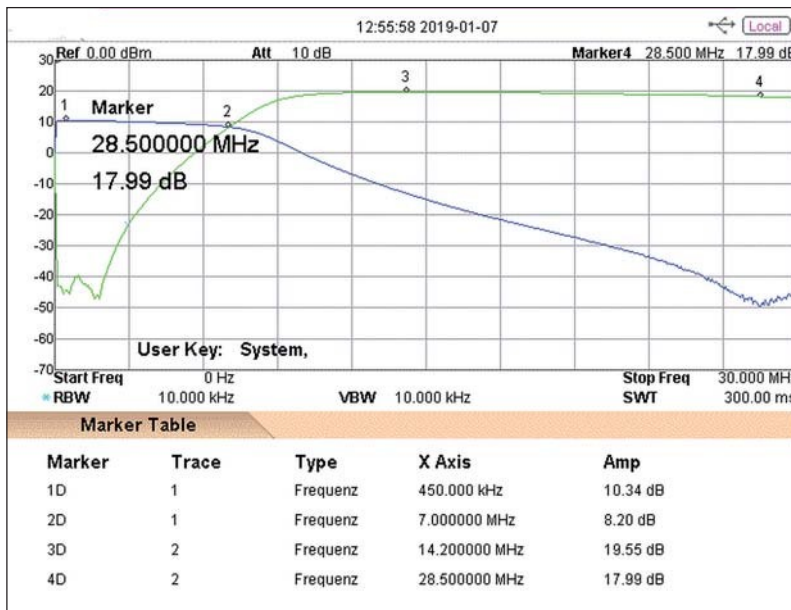


Bild 4: Frequenzgang und Verstärkung der beiden Empfangskanäle

Tabelle

| | |
|---|--------------------|
| Rauschpegel am Ausgang Unterband (5 MHz) ohne Antenne | PR = -156,1 dBm/Hz |
| Rauschpegel am Ausgang Unterband mit Antenne | PR = -142,7 dBm/Hz |
| Rauschpegel am Ausgang Oberband (14 MHz) ohne Antenne | PR = -146,0 dBm/Hz |
| Rauschpegel am Ausgang Oberband mit Antenne | PR = -130,9 dBm/Hz |

Tabelle 2: Rauschpegel im Detail. Bei Messungen „mit Antenne“ wurde der Strahler durch eine Ersatzlast ersetzt

Messzyklus dauert etwa 100 s, dessen Datenmenge beläuft sich auf ca. 250 kB. Zurzeit werden die Messungen alle 15 Minuten ermittelt, höhere Messraten sind möglich.

Auswertung der Daten

Die Darstellung der Messergebnisse erfolgt aus den Rohdaten, die in einer gesicherten Datenbank gespeichert sind. Die Darstellungsmöglichkeiten sind vielfältig (nach Frequenzbereich, Ort, Zeit usw.). Anregungen und Mitarbeit sind sehr willkommen!

ENAMS ist für eine Einsatzdauer von mehreren Jahren ausgelegt. Die Daten-

menge liegt im Bereich bis zu einigen Terabyte pro Jahr.

Das System überwacht und kalibriert sich regelmäßig selbst, Abweichungen von den intern gespeicherten Kalibrierwerten lösen eine Alarmmeldung aus.

Realisierung

In Deutschland werden ca. 50 Messstationen aufgebaut; die erste läuft seit ein paar Monaten. In den nächsten Wochen werden fünf Stationen aktiv sein. Ist dieser Test erfolgreich, wird die ganze Stückzahl produziert. Das Messsystem besteht aus folgenden Komponenten:

Empfangsstation bestehend aus

- kalibrierter aktiver E-Feld-Antenne [2]
- Empfänger-Einheit mit Red Pitaya SDR-Empfänger, Stromversorgung 15 V (analog), Stromversorgung 5 V (Schaltnetzteil), Netzfilter, Vorverstärker mit Frequenzweiche, LAN- und WLAN-Schnittstelle
- Red Pitaya, neue Soft- und Firmware erforderlich
- Auswerte-Station mit Datenbanksystem, Auswertung der Messdaten.

Entwicklungsstand Ende 2018

- Die Antenne ist in mehreren Exemplaren aufgebaut und vermessen.
- Aufgrund der geringen Empfindlichkeit und Dynamik des Red Pitaya wurde ein Eingangsteil entwickelt, welches beide Eingangskanäle des Red Pitaya mit unterschiedlichen Verstärkungen in zwei Frequenzbereichen nutzt. Die beiden Bereiche sind 100 kHz...8 MHz mit 10 dB Verstärkung und 8...30 MHz mit 20 dB Verstärkung. Dadurch wird zusätzliche Dynamik gewonnen. Bild 2 zeigt das Eingangsteil.
- Die Empfangsstation mit dem Red Pitaya ist als Nullmuster im Gehäuse aufgebaut. Konstruktionszeichnungen zur Herstellung der Gehäuse wurden angefertigt. Das erste Funktionsmuster im „fliegenden Aufbau“ inklusive Eingangsteil läuft seit ein paar Monaten bei DL2NI.
- Der Red Pitaya läuft bereits mit der speziellen Messsoftware von Michael, DK5HH, am QTH von DL2NI. Die erfassten Daten werden in einem Server bei Thomas, DG5MPQ, gespeichert. Michael, DK5HH, hat Zugriff auf den Red Pitaya.

Beschreibung und Messdaten des aktuellen Standes

Die aktive Antenne basiert auf folgendem Prinzip: aktive E-Feldsonde, k-Faktor durch Bestückung veränderbar, Phantomspannung 15 V. Bild 3 zeigt ihre Empfindlichkeit.

Messwerte der Antenne:

- Mechanisch bedingte Nutzhöhe bei 1 m Strahler und 1 m Stativ mit acht Radials: $h_N = 1,5$ m
- Elektrische Verstärkung an 50 Ω Last und 9 pF Antennennachbildung: $v = 0$ dB*
- Elektrische Verstärkung an 50 Ω Last, 50 Ω Input: $v' = 5,4$ dB*
- daraus resultierender gesamter Antennenfaktor: $k = 0,666$ 1/m*

- k-Faktor logarithmisch: $k' = -3,5 \text{ dB}^*$
 - Eingangskapazität: $C_i = 8,6 \text{ pF}$
 - Eingangswiderstand: $R_i = 5 \text{ M}\Omega$
 - Ausgangswiderstand: $R_A = 50 \text{ }\Omega$
 - OPIP2: +55 dBm
 - OPIP3: +41 dBm
 - 1-dB-Kompression (Ausgang): +15 dBm
- Hinweis zu den mit „*“ gekennzeichneten Werten: Die Verstärkung und die damit verbundenen Messwerte können leicht durch Bestückungsänderung angepasst werden. Die Messwerte des Red Pitaya zeigt die **Tabelle 1**.

Rauschzahl, Dynamik und Co.

Mit dem R&S SUF2 wurde die Rauschzahl ermittelt. 133,9 dBm/Hz erzeugten einen Rauschanstieg um 3 dB. Das entspricht $F = 40,1 \text{ dB}$. Zum Vergleich: ELAD FDMS2: $F = 18,1 \text{ dB}$, PERSEUS $F = 23,1/25,5 \text{ dB}$ mit/ohne VV. Vollaussteuerung des A/D-Umsetzers (Fullscale) wurde bei +5 dBm erreicht. Frequenzgang und Verstärkung der beiden Empfangskanäle sind in **Bild 4** zu sehen.

Die Betrachtung Rauschen am Ausgang des Eingangsteils mit und ohne Antenne gibt die **Tabelle 2** wieder.

Rauschmaß des Red Pitaya mit Vorverstärker „Unterband“ und „Oberband“ sind in **Bild 5** zu sehen.

Aufgrund der hohen Rauschpegel im Unterband kann man sich dort eine schlechteres Rauschmaß zugunsten einer besseren Großsignalfestigkeit leisten. Im Oberband entspricht das Rauschmaß den üblichen SDR-Empfängern. Bei Bedarf lassen sich diese Werte durch Bestückungsänderung anpassen. Die Aussteuerungsgrenze des Red Pitaya (Fullscale) mit Vorverstärker beträgt im Unterband -2 dBm und im Oberband -13 dBm . Eine Analyse des Interceptpunktes ist in **Tabelle 3** aufgelistet. Es ist zu beachten, dass der IP bei SDR-

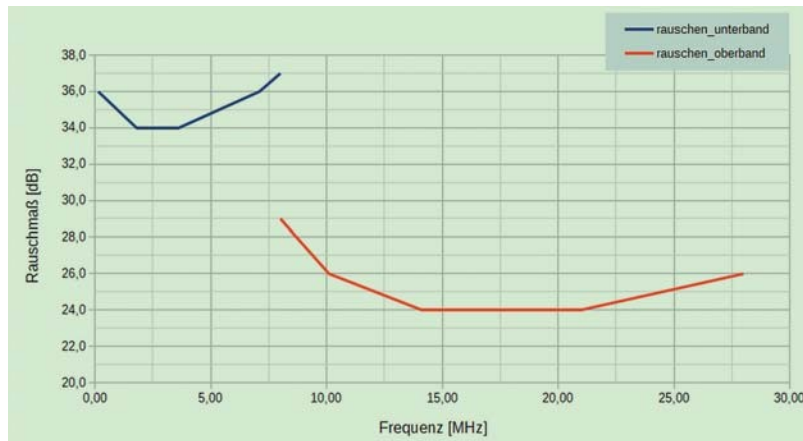


Bild 5: Rauschmaß der ENAMS-Empfängers für Ober- und Unterband

Tabelle

| Unterband (6,0/6,5 MHz) | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| IP2 @ $2 \times -20 \text{ dBm}$ | +52 dBm (Summe) / +56 dBm (diff.) |
| IP3 @ $2 \times -20 \text{ dBm}$ | +20 dBm |
| Oberband (10,0/19,0 MHz) | |
| IP2 @ $2 \times -20 \text{ dBm}$ | +37 dBm (Summe) / +49 dBm (diff.) |
| IP3 @ $2 \times -20 \text{ dBm}$ | +10 dBm |

Tabelle 3: Auflistung der Intercept-Punkte


Empfängern, im Gegensatz zu analogen Empfängern, stark pegelabhängig ist! Bei großen Pegeln steigt der IP.

Abschließend gibt die **Tabelle 4** Eigenempfangsstellen des Gesamtgerätes im Gehäuse mit Netzteilen wieder.

Software/Firmware

Da der Red Pitaya als Messgerät und nicht als Empfänger konzipiert wurde, ist hier umfangreiche neue Software bzw. Firmware geschrieben worden, um den Red Pitaya für den neuen Verwendungszweck zu optimieren.

Michael, DK5HH, hat bereits eine lauffähige Software erstellt, die auf dem oben erwähnten Red Pitaya ihren Dienst tut. Hier sind natürlich noch einige Updates zu erwarten. Die periodische Datenerhebung funktioniert bereits ein-

wandfrei; die erfassten Daten werden an einen Server, den Thomas, DG5MPQ, bereitstellt, übertragen. Das Datenbanksystem und die Auswertung sind im Entstehen. Die Daten des ersten Red Pitaya werden hier bereits gespeichert. Das Paket „Software“ stellt einen großen Teil des gesamten Entwicklungsaufwands dar. 

Tabelle

| Frequenz [MHz] | Pegel [dBm] |
|----------------|-------------|
| 0,110 | -115 |
| 0,220 | -113 |
| 2,148 | -115 |
| 2,258 | -116 |
| 11,303 | -116 |
| 13,566 | -117 |
| 18,088 | -116 |
| 25,000 | -118 |
| 29,395 | -116 |

Tabelle 4: Eigenempfangsstellen des Gesamtgerätes im Gehäuse mit Netzteilen

Literatur

- [1] Christian Entsfellner, DL3MBG; Klaus Eichel, DL6SES: „Mess-System für elektromagnetische Störungen“, CQ DL 12/17, S. 15ff.
- [2] Jörg Logemann, DL2NI: „Aktive Empfangsantenne für ENAMS“, CQ DL 2/18, S. 49ff.

Ein Projekt aus der Mitgliedschaft Pro 2018

Um dieses Projekt zu unterstützen, das letztendlich eine Datenbasis zur Beurteilung der Qualität des HF-Umfeldes für alle Funkamateure schaffen kann, bedankt sich der DARC e.V. bereits jetzt bei seinen treuen Pro-Mitgliedern.

Wenn auch Sie „Pro Amateurfunk“ sind, wechseln Sie einfach in die Beitragsklasse „Mitgliedschaft Pro“ (BK04). Die DARC-Geschäftsstelle freut sich über Ihren Mitgliedsantrag.

Auf der DARC-Seite www.darc.de/mitgliedschaft/mitgliedschaft-pro finden Sie weitere Informationen zur „Mitgliedschaft Pro“ und auch Beiträge darüber, welche Projekte der DARC e.V. dank Ihrer Hilfe in den vergangenen Jahren umsetzen konnte.