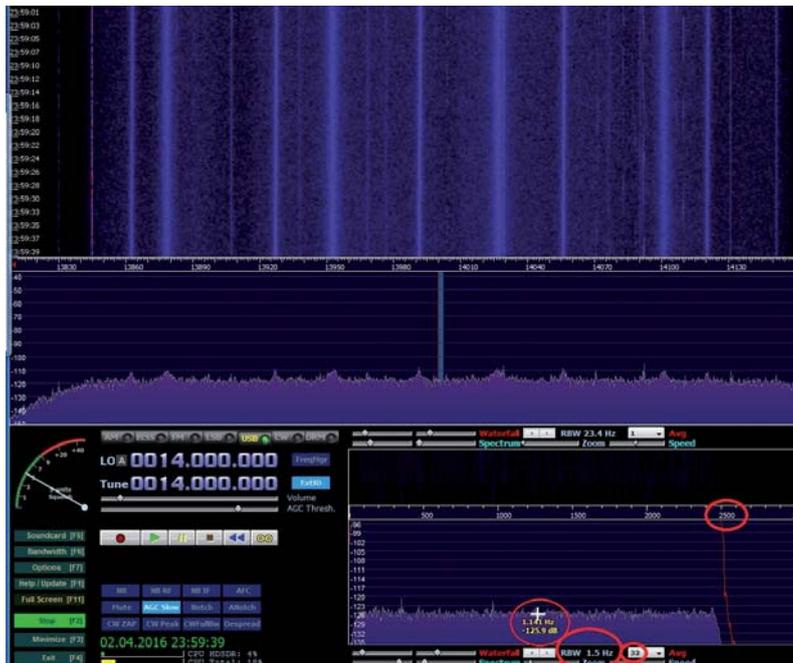


Elektromagnetische Umgebung ITU-gerecht überprüfen

Rauschmessung mit dem SDR ELAD FDM-S2

Jörg Logemann, DL2NI

Der Autor setzte sich das Ziel, ein Messverfahren zu erarbeiten, mit welchem Umgebungsrauschwerte in verschiedenen Wohngebieten und als Referenz dazu auf landwirtschaftlich genutztem Gelände fernab von jeglicher Bebauung erfasst werden können. Angestrebt wurden normierte Messwerte, anhand derer sich jeder Funkamateurlorientieren und sie mit den offiziellen ITU-Kurven vergleichen kann. Auch bei der Erstellung einer qualifizierten Störungsmeldung ist das Messverfahren hilfreich.

ELAD FDM-S2
(Bild: Werkfoto)

Die ITU-Kurven (Bild 1) zeigen solche Rauschwerte als Rauschmaß F in dB [1, 2]. Die Entwicklung des Messverfahrens und viele Einzelmessungen erfolgten zusammen mit Friedemann, DL2NK. Während meine Messungen mit einem SDR-Empfänger gemacht wurden, verwendete Friedemann ein analoges Messverfahren mit einem KW-Transceiver, indem er die Rauschpegel mit und ohne aktive Antenne maß (Rauscherhöhung). Nach einigen Anfangsproblemen erzielten wir gleiche Messergebnisse.

Messanordnung

Der Messaufbau hat folgende Bestandteile:

- aktive Antenne mit 1 m Stab + 1 m Standrohr + Radials, Frequenzbereich 10 kHz bis 30 MHz
- Empfänger ELAD FDM-S2 mit Software HDSDR, DC-Versorgung über PC (USB)
- Laptop mit Windows 7, auf dem die HDSDR-Software läuft
- DC-Speiseweiche zur Stromversorgung der Antenne
- Mantelstromsperre mit mindestens 30 dB Isolation
- ca. 25 m Speisekabel
- Akku zur Versorgung der Antenne über die Speiseweiche

Bild 2 zeigt die Messanordnung.

Zur Person



Jörg Logemann, DL2NI
1948 geboren in Osna-brück, DARC-Mitglied seit 1964, lizenziert seit 1966 Dipl.-Ing. (FH), fast 40 Jahre Tätigkeit bei AEG-Telefunken/DASA/EADS/Airbus im Bereich Empfänger- und Antennenentwicklung, im Ruhestand seit Ende 2013
Besondere Interessen: Schaltungs- und Antennensimulation und -entwicklung, Mikroprozessor-Programmierung, Computer, Fotografie, Astronomie, Motorrad fahren, Rockmusik

Anschrift:
Veilchenstr. 3
89150 Laichingen
joerg.logemann@t-online.de

Die Antenne

Es wurden etliche Versuche und Messungen vorgenommen, um die optimale Antennenkonfiguration zu finden. Dabei fand eine AEG-Telefunken A1205 Verwendung. Jede andere Antenne mit einem Verstärker mit einem Eingangswiderstand $>1\text{ M}\Omega$ und einer Eingangskapazität $<10\text{ pF}$ ist geeignet. Jedoch zeigte sich, dass die Empfindlichkeit einiger Antennen oberhalb von 20 MHz, speziell an ruhigen Orten, die Messgrenze beeinflusst: Das Eigenrauschen, also gewissermaßen das Systemrauschen, liegt unter Umständen im gleichen Bereich wie die erwarteten Messwerte. Bei einer aktiven E-Feld-Antenne kann dieser Mangel nur durch einen längeren Stab behoben werden, da die an sich rauscharmen Junction-FETs (hier U310 mit $F = 2,5\text{ dB}$) in der hochohmigen Schaltung (Source-Folger) der Eingangsstufe eine Rauschzahl von ca. 20 dB bekommen. Weiter ist der Antennenfaktor K oder k eine wichtige Größe. Bei kurzen, direkt auf dem Boden mit Radials betriebenen Monopolen ist die wirksame Antennenhöhe H_w gleich der halben mechanischen Höhe des Stabs H_s . Somit gilt: Bei einer Feldstärke von $1\text{ }\mu\text{V/m}$ entsteht am 1-m-Strahler eine Spannung von $0,5\text{ }\mu\text{V}$. Wird, wie im vorliegenden Fall, eine solche Antenne mit einem kleinen

Mast oder Tragrohr der Länge H_M betrieben, gilt:

$$H_w = H_S/2 + H_M$$

Bei jeweils 1 m Länge beträgt H_w also 1,5 m, und bei 1 $\mu\text{V}/\text{m}$ entstehen 1,5 μV am Strahler.

Nun ist allerdings noch der nachfolgende Verstärker zu berücksichtigen. Ein 1-m-Strahler hat im Kurzwellenbereich einen Strahlungswiderstand von einigen Milliohm bis einigen Ohm in Reihe mit ca. 10 pF. Die Spannungsverstärkung der Verstärker in aktiven Antennen liegt meist bei 0 dB, jedoch nimmt die Einfügungsverstärkung durchaus Werte von 80 dB oder mehr an. Antennen- und Verstärkerimpedanz bilden einen Spannungsteiler, der die Verstärkung wieder reduziert.

Im vorliegenden Fall betrug die resultierende Spannungsverstärkung $-0,5$ dB. Der Strahler hat eine Nutzhöhe von 1,5 m entsprechend 3,5 dB, der resultierende k-Faktor ist also 3 dB. 1 $\mu\text{V}/\text{m}$ erzeugen somit ca. 1,4 μV an 50 Ω .

Diese Betrachtung ersetzt natürlich keine Kalibration, aber für Messungen zwecks Beurteilung eines Standorts ist eine Toleranz von geschätzten $\pm 2...3$ dB ausreichend, und man kann somit auf eine aufwändige Kalibrierung verzichten.

Messaufbau

Zur korrekten Messung muss die gesamte Messumgebung „elektrisch sauber“ sein. Es kann z.B. der Pkw, in dem sich Empfänger und Laptop befinden, eine „Störwolke“ erzeugen. So waren am Anfang Rauschberge selbst in ruhigen Tallagen festzustellen, die sich später als Störungen, verursacht durch den Laptop, darstellten! Diese Störungen gelangten vom PC über das USB-Kabel auf den ELAD-Rx (nicht direkt in den Rx!) und dann als Mantelwellen an die aktive Antenne, die zunächst über kein ausreichendes Erdnetz verfügte. Die Störungen konnten erst nach sauberer Erdung (Radialnetz mit 16 Radials je 2,5



Bild 3: Messaufbau an einem ruhigen Ort

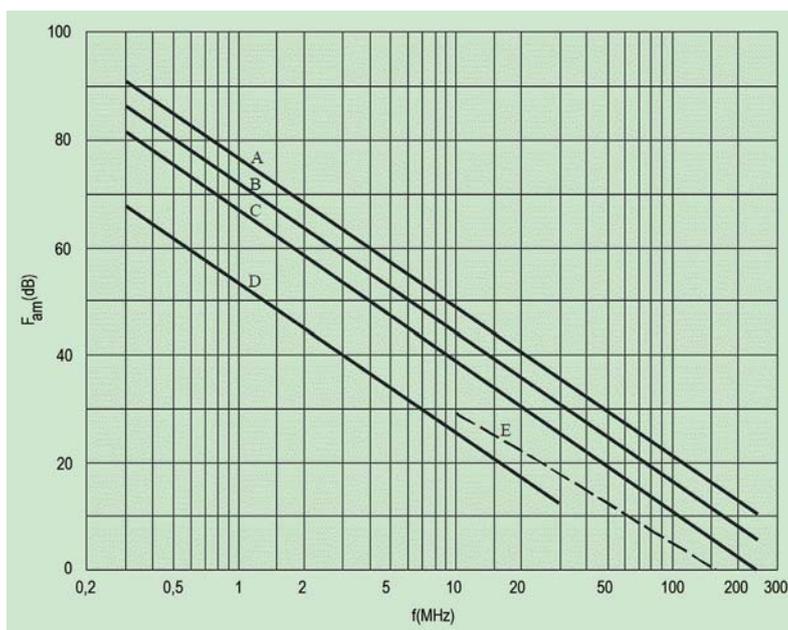


Bild 1: Gemittelte Rauschwerte für eine verlustfreie geerdete Monopol-Vertikalantenne. A = Stadt, B = Wohngegend, C = ländliche Wohngegend, D = unbewohntes Land, E = galaktisches Rauschen

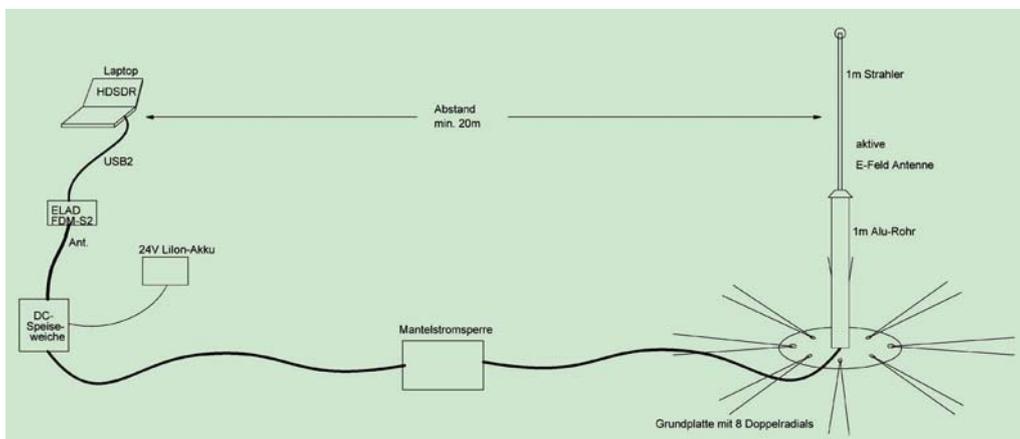


Bild 2: Die Messanordnung

m, auf den Boden gelegt) und mit einer wirksamen Mantelstromsperre sowie zusätzlicher Ferritisierung des Kabels in Antennennähe beseitigt werden. Die aktive Antenne sollte daher mindestens 20 m entfernt von Pkw und Laptop auf dem Boden aufgestellt werden. Die Messung mit einem SDR-Empfänger erfordert also größte Sorgfalt beim Vermeiden von PC-Störungen, ist aber ansonsten die bequemere Methode! Ein rein analoges Messverfahren weist diese Nachteile nicht auf, ist aber etwas umständlicher auszuführen.

Bild 3 zeigt den Messaufbau an einem ruhigen Ort.

Die Messung

Die eigentliche Messung läuft wie folgt ab: Am ausgewählten Standort wird der Empfänger in dem interessierenden Frequenzbereich gestartet. Die Scan-Bandbreite wird beim Starten von HSDSDR durch Anklicken der entsprechenden DLL gewählt, die „ZF-Bandbreite“ wird vorzugsweise auf 2,5 kHz eingestellt,

da man hier mit dem glatten Bandbreitenfaktor von 34 dB einfach „im Kopf“ rechnen kann da und die S-Meter-Anzeige mit der üblicher SSB-Empfänger übereinstimmt.

Die „ZF-Bandbreite“ zusammen mit der S-Meter-Anzeige ist nur als Ergänzung anzusehen und wird für die eigentliche Messung nicht benötigt. Im als Aufmacher verwendeten Beispiel wurde die Scan-Bandbreite auf 384 kHz eingestellt; der ELAD ermöglicht hier 192 bis 6144 kHz (in Stufen mit den ExtIO DLLs). Wichtig für die anschließende Berechnung der Rauschdaten ist die so genannte B_{in} -Bandbreite. Hier kann man zwischen zwei Werten auswählen: im HF- oder im NF-Spektrum. Hier wie da werden die B_{in} -Bandbreiten angezeigt und lassen sich mit den Pfeiltasten links neben der Zahlenanzeige verstellen. Die beste Ablesbarkeit des Rauschpegels war im NF-Spektrum mit einer B_{in} -Bandbreite von 1,5 Hz und einem Average-Faktor von 16 gegeben; andere Einstellungen sind möglich. Ein Average-Faktor von 8

bis 32 ist aber empfehlenswert, da sonst das Rauschspektrum zu sehr zappelt. Wichtig ist, dass man eine freie Frequenz ohne Träger oder andere Signale auswählt und den Cursor mittig zwischen die Rauschberge und Rauschtäler der gemittelten Darstellung setzt; nun kann man bequem den Wert des Rauschfloors ablesen (hier $-125,9$ dBm). Die B_{in} -Bandbreite beträgt $1,5$ Hz, was einem Bandbreitenfaktor (Bezug 1 Hz) von $1,8$ dB entspricht. Daraus ergibt sich ein Rauschwert von $-127,7$ dBm/Hz.

Vergleichsmessungen mit einem Rauschgenerator SUF-2 von Rohde & Schwarz haben ergeben, dass der ELAD mit HSDR ca. 5 dB zuviel anzeigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass er in etwa den Spitzenwert des Rauschens misst (Quasipeak) und nicht den Effektivwert (RMS). Es wurde daher einfach ein Korrekturwert von 5 dB eingeführt. Der korrigierte Messwert ist also $-132,7$ dBm/Hz.

Nun fehlt noch die Korrektur um den k-Faktor der Antenne (3 dB), es ergeben

Formeln

$$korr = 20 \cdot \log \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{480 \cdot \pi^2}{50 \cdot \lambda^2}}} \right)$$

Formel zur Ermittlung des Korrekturfaktors korr in dB, 50 steht für die Systemimpedanz in Ohm

$$F = P_n - 10 \cdot \log(B_{in}) - K_{RMS} - K_{Ant} + 20 \cdot \log \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{480 \cdot \pi^2}{50 \cdot \lambda^2}}} \right)$$

Formel zur Ermittlung des Rauschmaßes des Außenrauschens F in dB

P_n ... Rauschfloor in Spektrumanzeige des Rx in dBm
 B_{in} ... B_{in} -Bandbreite in Hz
 K_{RMS} Rauschkorrektur Rx in dB
 K_{Ant} = K-Faktor Antenne in dB
 λ ... Wellenlänge in m

sich also $-135,7$ dBm/Hz. Leider ist das noch immer nicht das gewünschte Endergebnis, denn wir haben eine E-Feldsonde verwendet, die ITU-Kurven beziehen sich jedoch auf eine kurze (passive) verlustfrei angepasste Monopolantenne auf idealem Grund. Wir müssen daher

noch einen frequenzabhängigen Korrekturwert korr addieren, s. obere Formel im Kasten. Aus den $-135,7$ dBm/Hz werden bei z.B. 14 MHz gemäß $korr = 6,8$ dB $-128,9$ dBm/Hz. Das ist der Rauschpegel, bezogen auf 1 Hz Bandbreite unter Berücksichtigung aller Antennen- und Empfängerparameter.

Lediglich das Rauschmaß des Empfängers muss nicht unbedingt berücksichtigt werden, da es sehr viel geringer ist als das zu erwartende Rauschmaß des Außenrauschens.

Das letzten Endes gesuchte Rauschmaß erhalten wir nun durch die letzte Rechenoperation: Wir subtrahieren von den $-128,9$ dBm/Hz den Wert für das Rauschmaß 0 dB (oder Rauschzahl von 1 kT_0 , Widerstandsrauschen bei 290 K) von -174 dBm/Hz und erhalten $F = 45,1$ dB. Das ist das ersehnte Endergebnis, nämlich das Rauschmaß des Außenrauschens in dB!

Natürlich lässt sich dies alles auch in eine größere Formel schreiben. Man sieht sie unten im Kasten. Stark vereinfacht gilt:

$$F = P_n - 10 \log(B_{in}) - K_{RMS} - K_{Ant} + 20 \log(30,8/f)$$

F ... Rauschmaß des Außenrauschens in dB

P_n ... Rauschfloor in Spektrumanzeige des Rx in dBm

B_{in} ... B_{in} -Bandbreite in Hz

K_{RMS} ... Rauschkorrektur Rx in dB

K_{Ant} ... K-Faktor Antenne in dB

f ... Frequenz in MHz

Schlussbetrachtung

Dass die so ermittelten Werte eine hohe Konformität zu den ITU-Kurven aufweisen, zeigt **Bild 4**, wo die Außerortswerte

Bild 4:
Kurven ruhiger Orte

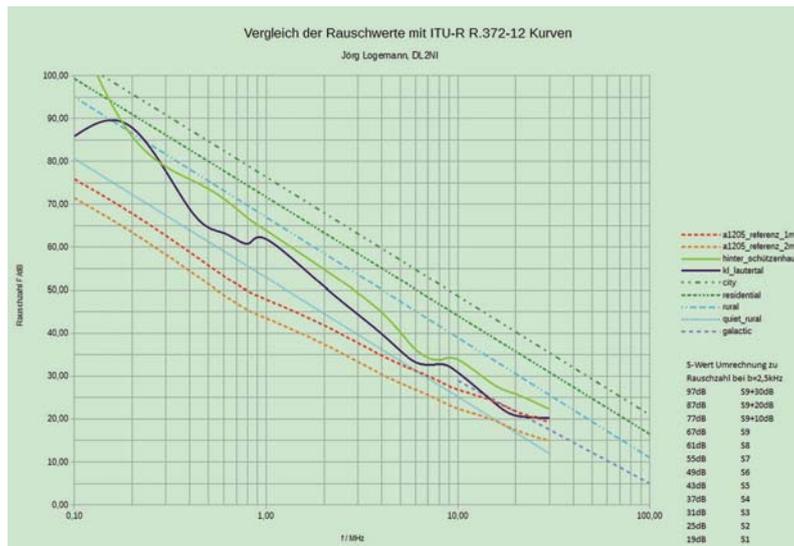
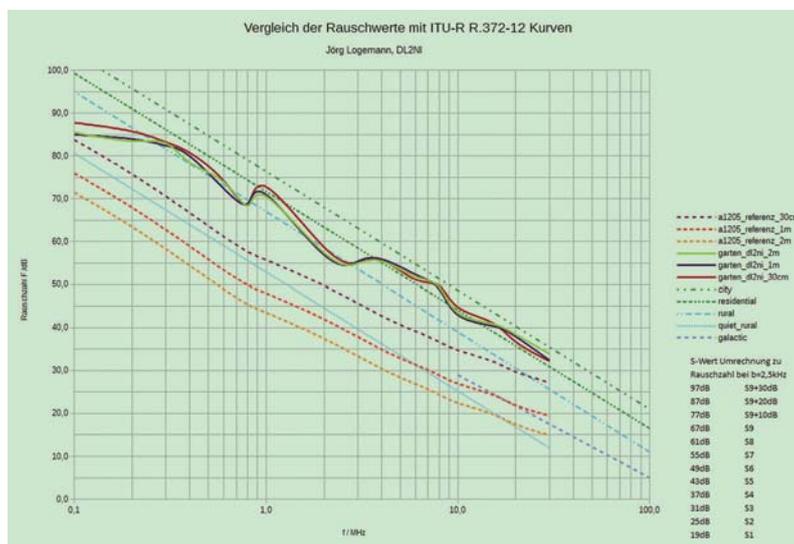


Bild 5:
Messkurven vom QTH
von DL2NI



von einem Standort ca. 3 km östlich von meinem Dorf und von einem tiefen Tal in der Nähe eingetragen sind. Die gestrichelte rote Linie stellt die Systemrauschgrenze mit 1-m-Stab dar, die orange mit 2-m-Stab.

Leider sind die Messwerte an bewohnten Standorten oft deutlich höher, als es die ITU-Kurven erwarten lassen! Die grüne und die dunkelblaue Kurve entstanden in meinem Garten in der Wohnsiedlung einer 1200-Seelen-Gemeinde mit 1- und 2-m-Stab. Zusätzlich wurden die rote Kurve mit einem 30-cm-Stab und die dazugehörige gestrichelte violette Referenzkurve eingefügt, da es in der Praxis Situationen gab, bei denen man prüfen musste, ob im Antennensystem eine Übersteuerung vorlag. Eine solche

erzeugte z.B. ein starker UKW-Rundfunksender in Sichtweite.

Bei korrekter Bestimmung der Antennenfaktoren müssen die Kurven mit 0,3/1/2-m-Stab nahezu deckungsgleich verlaufen, was in der Praxis oft nicht ganz zutrifft, da man zeitlich nacheinander und daher eventuell geänderte Störsituationen misst!

Bild 5 bringt eine reale Messkurve direkt von meinem QTH.

Diese Messungen können natürlich auch mit anderen Empfängern erfolgen. SDR-Empfänger haben den Vorteil der besseren Übersicht durch die Spektraldarstellung, sodass man nicht so leicht auf schmalbandige Störer hereinfällt. Empfänger wie der Perseus oder auch der kleine SDRplay RSP1 sind ge-

eignet, man muss jedoch im Vorfeld die Rauschbewertung der jeweiligen Kombination „SDR-Empfänger/Software“ vornehmen. Statt der hier verwendeten 5 dB waren im Falle des Perseus mit HSDR z.B. ca. 0 dB anzusetzen, allerdings etwas frequenzabhängig.

Übersteuerungen der SDR-Empfänger müssen unbedingt vermieden werden!

Ich danke Ulfried, DJ6AN, für seine kompetente EMV-Beratung.



Literatur und Bezugsquellen

- [1] www.itu.int/rec/R-REC-P.372-12-201507-I
- [2] www.itu.int/pub/R-REP-SM.2155-2009



Aus Munitionswird Relaiskiste

Ein Samstagvormittag im Frühjahr. Mehrere OV's des Distriktes Schwaben (T) unternehmen eine gemeinsame Notfunkübung. Ziel dabei: die Kommunikation unter Notfallbedingungen über Landkreisgrenzen hinweg aufzubauen und zu halten. Im Zuge dieser Übung war unser OV in die Situation gekommen, eine Linkstrecke (70 cm) zum Hauptinitiator der ganzen Notfunkübung in der Gegend von Marktoberdorf aufzubauen. Dabei musste schwierige Topographie überwunden werden.

Wir glaubten deshalb, vom vorgesehenen QTH der Leitstation in unserem Ortsverband nicht auf dem direkten Wege zum Ziel, dem THW-Gelände in Huttenwang kommen zu können. So baute ich einen provisorischen Crossbandumsetzer mit einem Euron



Bild 1: So hat der Autor die Munitionskiste erhalten. Leichter Rostanatz, es gibt was zu tun!

MT-8500E und einer Yagi für 70 cm Band zusammen mit einem GEROH-Kurbelmast auf einen PKW-Anhänger. Störend dabei war der „fliegende Aufbau“ des Relais ... Eine Lösung musste her.

In etwa zu dieser ersteigerte ein anderes OV-Mitglied eine gebrauchte Munitionskiste im Internet (760 mm × 280 mm × 220 mm). Mein OV-Kamerad brachte diesen Ebay-Kauf im leeren Zustand zum darauf folgenden OV-Abend mit und wir machten uns ein paar grundsätzliche Gedanken: In die Kiste sollte ein autark stromversorgter und crossbandfähiger Mobiltransceiver. Rauskommen sollte eine leicht zu transportierende Vorrichtung, die am Tag x auf einem Jägeransitz, einem Aussichtsturm oder Hügel über längere Zeit einsetzbar sein sollte, ohne Manpower an sich zu binden.

Als ich das erste Mal die Kiste sah, war ich verwundert über die Art und Weise. Sie ist erstens nicht nur recht schwer, sondern auch extrem unhandlich, mit nur einem Griff – und dafür viel zu lang! Die Machart sollte mir noch später Probleme bereiten... Zuerst schnitt ich ein Brett zu, welches in den Innenraum gelegt wurde und später von außen mit dem Boden verschraubt werden sollte. Dieses Brett sollte als Grundlage für den im hinteren Bereich angesetzten Akkuhalter dienen. Der Akkuhalter besteht aus einem Flachalu, welches einerseits mit dem Brett verschraubt ist, andererseits Bohrungen besitzt, in der



Bild 2: Relaiskiste mit Schublade und Akkuhalterung im Hintergrund

entschied mich, eine weitere, diesmal ausziehbare Platte einzubauen. Dieses Brett trägt nun eine Mobilhalterung aus gebürstetem Alu, welche das Euron MT-8500E aufnimmt. Direkt hinter dem Funkgerät ist eine Klemme angebracht, welche die Zuleitungskabel des Euron fixieren. Kleinmaterial, wie ein Duplexer, wird in einer kleinen Blechkiste untergebracht. Die Stromzufuhr kann über einen Schalter an der Innenseite getrennt werden. Der Anschluss der Antenne erfolgt an der Oberseite der Kiste, mithilfe eines PL-Einbaufußes. Dieser lässt sich mit einer Schutzkappe versehen, damit kein Wasser eindringt.

Aufgrund des Verwendungszwecks für den Notfunk (oder Fielddays) wollten wir uns von der militärischen Nutzung abheben und entschieden uns der Kiste eine friedliche weiße Farbe zu geben.

Im Inneren wurde ein 15-Ah-Blei-Gel Akku in die Akkuhalterung eingeklemmt. Es wurde bewusst darauf geachtet, dass auch ein zweiter Akku untergebracht werden kann. Damit beläuft sich das Gewicht der Kiste auf

21,5 kg. Durch einen zweiten Griff in Form eines Seils lässt sich die Kiste auch bequem alleine bewegen. Damit allzu empfindliche Böden geschützt werden, wurden an der Unterseite sowie an der kleinen Rückseite, Gummistöpsel eingeklebt.

Nachdem die Programmierung der nahen Relais abgeschlossen ist, kann es außerhalb des Notfunks für den normalen 2-m-/70-cm-Funkverkehr benutzt werden, da in im Inneren Anschlüsse für eine 12-V-Einspeisung liegen. Damit lässt sich das Euron MT-8500E am Netz sowie Akkugepuffert betreiben. Dank dem absetzbaren Bedienteil, verweilt die Kiste im Fußraum des Shacks und der Tisch bleibt frei für weitere schöne Dinge. Im Notfunkfall ließe sich die gesamte Kiste so mitnehmen. Durch den ständigen Netzbetrieb wäre auch der Akku geladen und der Bediener sehr mit den Knöpfen vertraut.

Daniel Butzmann, D04DB



Bild 3: Anwendungsbeispiel