BNetzA Test Report “Direction Finding with the Handheld Analyzer Narda SignalShark”

After testing the Narda SignalShark as a receiver and testing the SignalShark as a sensor inside a TDOA network, the Federal German Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Post and Railways, or BNetzA for short, has thoroughly tested the Narda SignalShark in conjunction with it’s manual- and automatic direction finding antennas. They have made their test report available to us for publication. We would like to thank them for the time and effort that they put into this.

The original test report in German language can be found at the end of this document. Narda has taken the liberty of translating the report into English for you.

To make sure that you are always up to date with the latest developments in the product, we recommend our “News Ticker”, which will keep you informed about product innovations.

narda
Safety Test Solutions

Test report

Direction Finding with the Handheld Analyzer Narda SignalShark

BNetzA Munich Office
Betzenweg 32
81247 München

Marcus Krah, Augs8-7 Thomas Hasenpusch, Augs8-2

Version 1.0
Issue: 13.08.2020

Translation provided by Narda Safety Test Solutions GmbH

1 Introduction

In July 2020, we had the opportunity to test the direction finding functions of the Narda Real Time Handheld Analyzer SignalShark for around two weeks at the Munich office. Representatives of Narda and Telemeter Electronic provided us with a loan instrument and accessories for this purpose.
The equipment comprised the Basic Unit itself, the SignalShark 3310, and the corresponding Antenna Kit for manual direction finding, as well as the ADFA2 Direction Finding Antenna for automatic direction finding.
The test described here is concerned with the two direction finding functions (manual and automatic). The HF properties of the SignalShark Basic Unit and general operation of the SignalShark were tested in 2019 (see Proceedings ZY531/00161/19).

2 System description

2.1 Hardware

The loan instrument comprised the following equipment:

- SignalShark 3310 Basic Unit
- Antenna handle (with integrated preamplifier and compass)
- Magnetic loop antenna (9 kHz – 30 MHz)
- Directional antenna 1 (20 MHz – 250 MHz)
- Directional antenna 2 (200 MHz – 500 MHz)
- Directional antenna 3 (400 MHz – 8 GHz)
- Automatic Direction Finding Antenna ADFA2 (10 MHz – 8 GHz) with magnetic base and mast fixing
- 2 trolley cases with accessories

Figure 2-1: SignalShark analyzer with hand held direction finding antenna (top) and automatic direction finding antenna ADFA2 (bottom)

The main specifications of the analyzer:

Parameter	Value
Frequency range	8 kHz – 8 GHz
Real time bandwidth	40 MHz
Min. pulse width	3.125 µs*) (100% capture)
RBW (real time spectrum)	1 Hz – 800 kHz
Detectors	Pk, RMS, AV, Sample, CISPR AV, QP
Noise factor, typical (44 - 3000MHz)	12 dB (DANL = -162 dBm/Hz)
IP3, typical (44 - 3000 MHz)	+14 dBm
Data interfaces	USB, LAN
Battery operating time	3 hours
Dimensions	23 x 33 x 8.5 cm
Weight	4.4 kg

Table 2-1: SignalShark specifications

*) Pulses >3.125 µs in length are shown with correct level. Pulses of 2 ns length and above are captured, but with reduced level according to the set RBW.

The main specifications of the ADFA2 direction finding antenna:

Parameter	Wert
Frequency range	10 MHz – 8 GHz
Min. pulse period	1 ms**)
Polarization	Vertical
Results output	Up to 200 MHz: Azimuth Above 200 MHz: Azimuth and elevation
Diameter	48 cm
Weight	10 kg

Table 2-2: ADFA2 direction finding antenna specifications

**) Direction finding on pulses < 1 ms is possible if the level is sufficient. However, the average is taken over the time taken for the bearing (i.e. the bearings of the noise components are also included).

The analyzer runs the Windows 10 operating system. The firmware version that was tested was 1.6.0 issued 07.15.2020. This firmware provided the following features in connection with the direction finding functions that were tested:

- Map materials covering the Munich area for displaying the direction finding and localization results were pre-installed and therefore available offline.
- Individual measurement routines can be programmed using Python scripts and executed directly on the instrument.
- Analog demodulation (FM, AM, SSB) and audio recording are possible.

The ADFA2 direction finding antenna is calibrated, so the level can be displayed directly as a field strength.

3 Manual direction finding with the handheld antenna

3.1 Principle

When the handheld direction finding antenna is rotated in Horizontal Scan mode, the horizontal antenna diagram is displayed, similar to the Rotary Search display in FuMOS. The direction of the level maximum is determined automatically and shown as an arrow. The measurement can be started and stopped by pressing a button on the antenna itself. It is not always necessary to perform a full 360° scan. Turning the antenna through an angle about the (expected) direction of the level maximum will also suffice. Accuracy is increased if several rotations are made, since all the results are included in the calculation of the level maximum. The direction finding result can be saved by pressing a button at the end of the measurement. The GPS coordinates of the location from which bearings were taken are also saved.

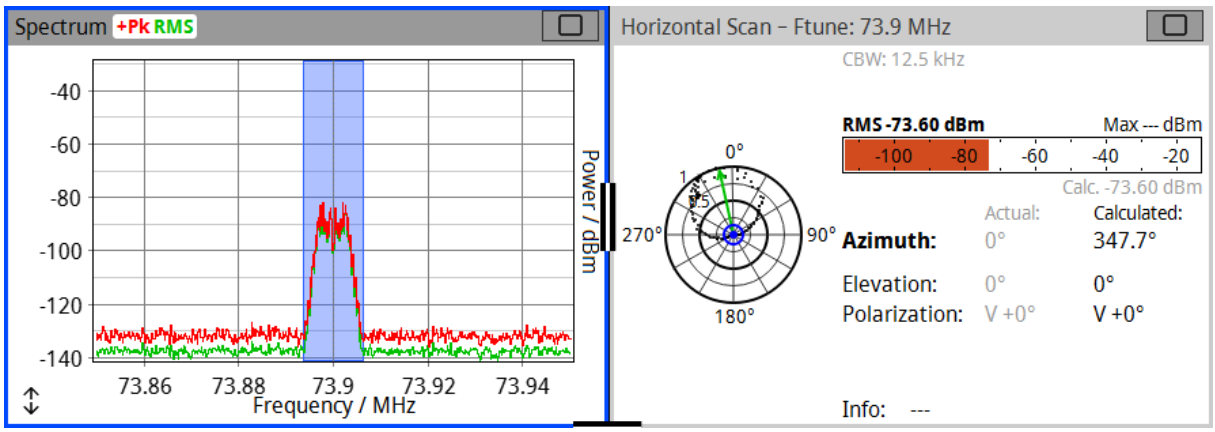

Figure 3-1: Example of a Horizontal Scan direction finding result

The calculated bearing result (green arrow in figure 3-1) can be corrected manually before it is saved.
The bearing can then be taken at a different location. The location of the transmitter can then be calculated from all the manual bearings saved in the same directory and shown as a heatmap on the map.

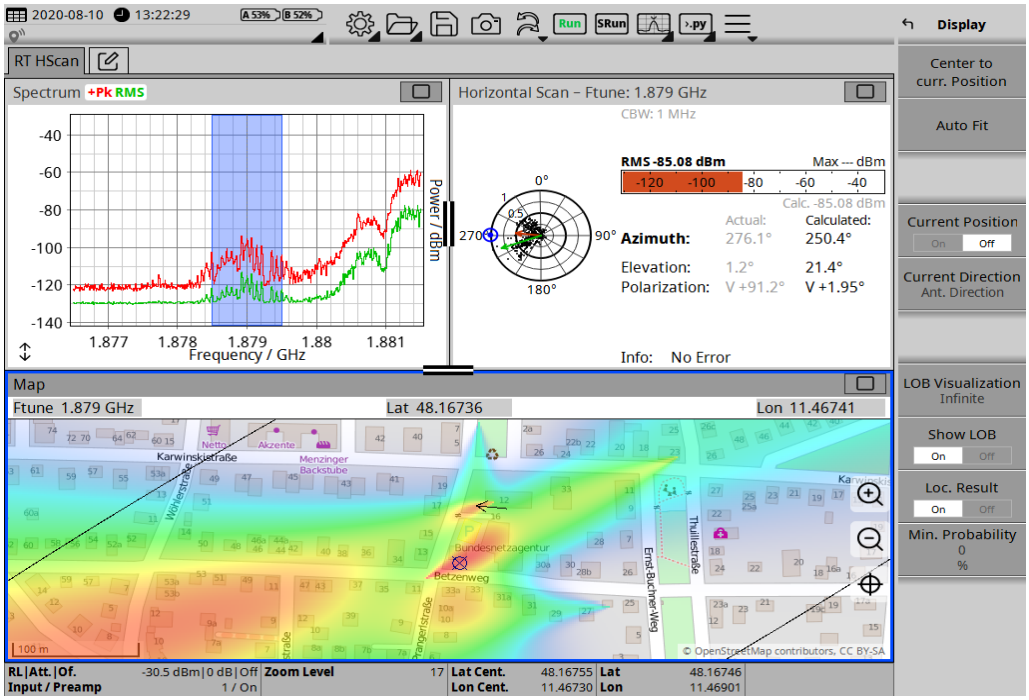

Figure 3-2: Example of localization from manual bearings taken at 5 locations. The calculated location result is indicated by the cross in circle symbol

The main application for manual direction finding is the localization of interference sources in the immediate vicinity, i.e. where it is not possible to approach with a vehicle (e.g. between two buildings, on business premises, or in enclosed courtyards).

3.2 Manual direction finding function test

Firstly, we positioned a test transmitter on the roof of the office and attempted to localize it by taking bearings from various locations at distances between 30 and 300m around the building. We tested the following signals and frequencies:

Frequency	Signal / Bandwidth	Transmitter location	Result
73.9 MHz	FM / 3 kHz	Office roof	Location of building inaccurate because some bearings were taken through obstacles (other buildings) so that there was no line of sight (see Figure 3-3).
1879 MHz	DECT / 1 MHz	Office roof	Very accurate location of building. Good sensitivity of the handheld antenna with preamplifier activated.
1879 MHz	DECT / 1 MHz	Inside the office building	Very reliable location of building, even though there was no line of sight to the transmitter from any of the locations where bearings were taken.

Table 3-1 Results of test bearings using Horizontal Scan

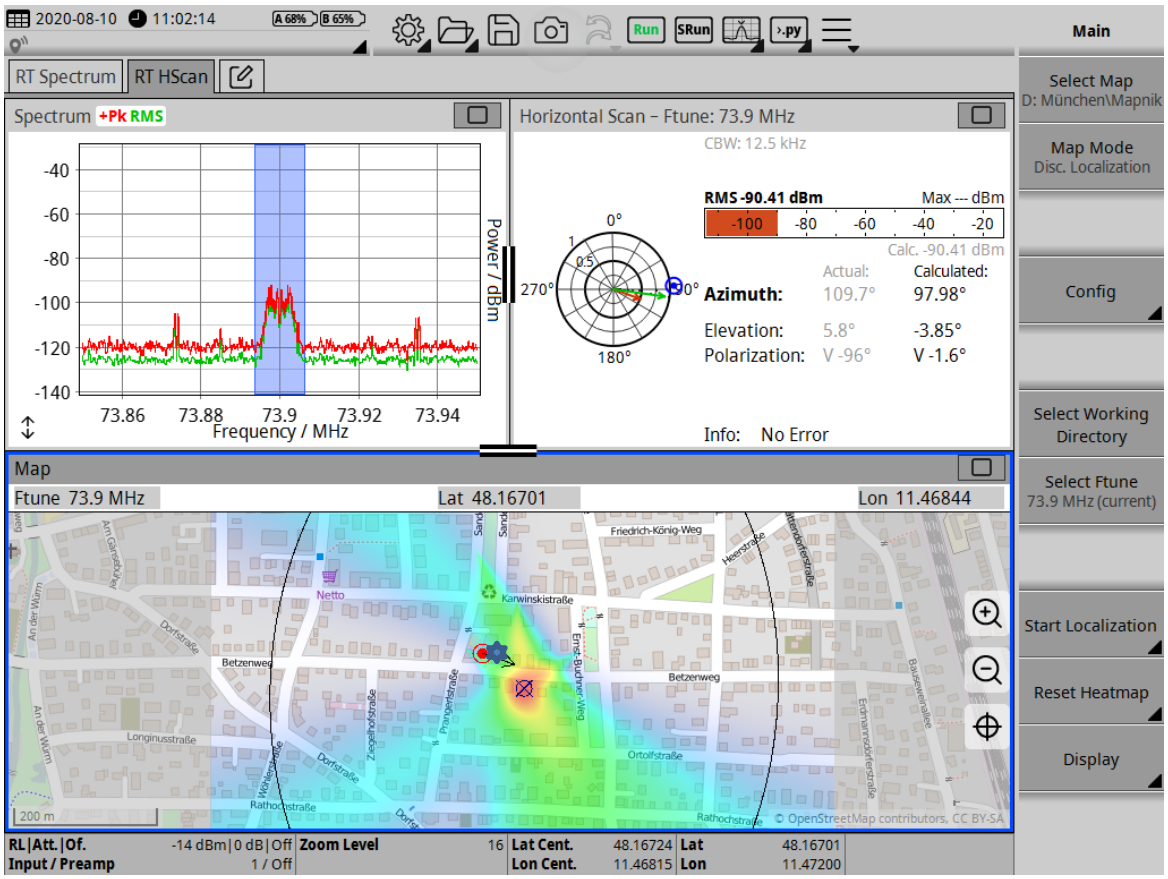

Figure 3-3: Result of a test bearing on a 73.9 MHz signal. The actual location of the transmitter is shown by a blue star

The tests demonstrated that the functions of the Save button and Start/Stop button on the handheld antenna were not always correct. This meant that sometimes invalid bearings were saved by accident, and that some valid bearings could not be saved at all. After reloading the Horizontal Scan mode and reentering all the settings, this fault was cleared (for the time being).

To take an exact bearing in the immediate vicinity of the interference source, it is necessary to wait for a while before taking bearings at a new location to increase the accuracy of GPS positioning. Nevertheless, the inaccuracy in this position remains the greatest contributor to the inaccuracy of the localization (see figure 3-4).

Figure 3-4: Comparison of automatically determined (yellow marker) and actual (green cross) measurement positions

For localizations made in the high frequency range, the antenna diagram is naturally very sharp and reflections are very strong (tested here using DECT signals as an example). Our test showed that it was possible to greatly improve the bearing result by following an initial “blind” 360° sweep with several further sweeps in the area of the detected maximum with the antenna in different positions and at different heights or elevations. The short wavelength (16 cm) means that even slight changes in the position can be used to average out the reflections or even eliminate them. Using this method, the transmitter location on the office roof could be determined extremely well (see Figure 3-2, where the calculated and actual locations match exactly).

3.3 Sensitivity comparison

In practice, the combination of a portable receiver and a handheld direction finding antenna is often used to localize very weak signals, particularly in the frequency ranges up to 20 MHz (PLC, DSL) and above 2400 MHz (WLAN).
To assess the suitability of the Narda system for weak signals in comparison with the combination of the R&S PR100 and HE200/HE300 handheld direction finding antenna currently used by the Test and Measurement Service (TMS), a corresponding test was performed on the office roof using both systems. The test signals were generated by a test transmitter through a broadband discone antenna approximately 20 m away from the handheld antenna in each case. The achievable signal to noise ratio in a measurement bandwidth of about 1.5 kHz was determined. Both systems have a manually activated preamplifier integrated into the handheld antenna. In many instances, this cannot be used as it is easily overmodulated in the presence of strong signals. The measurements were therefore made both with and without the integrated preamplifier.
The results were as follows:

- At frequencies of up to 20 MHz, both systems have approximately the same sensitivity, with the Narda system being up to 7 dB more sensitive when the preamplifier is used
- At frequencies around 150 MHz, the Narda system is more sensitive by between 7 and 11 dB
- At frequencies above 200 MHz, the Narda system is on average 22 dB more sensitive than the PR100 with HE200.

The individual results are listed in the Annex. It should be mentioned that this test merely provided comparative values for orientation. Although we attempted to position the antennas at the same spot and to determine the local level maximum in each case, the RF environment was not free of reflections, which meant that it was not possible to completely even out any level variations.

4 Automatic direction finding with the ADFA2

4.1 Principle

The ADFA2 antenna is connected to the SignalShark by a combined RF and data cable. This is automatically recognized when it is plugged in. One of the predefined measurement settings can then be loaded using the Task menu. The “Auto DF” task displays three windows by default:

- Spectrum
- Bearing result
- Map

The bearing quality and elevation angle of the incident signal are also displayed for frequencies above 200 MHz; below 200 MHz, only the azimuth is displayed.

Figure 4-1: Default screen display using a LTE800 signal as an example

The set bearing bandwidth (channel bandwidth, CBW) is shown in the Spectrum window as a blue shaded area, so that you can always check that the exact signal being searched for is within the bearing window.
The center frequency and span can be set numerically or by shifting the frequency axis or the area within the frequency range using the mouse.
The RMS level shown in the Bearing window is the total level within the set bearing bandwidth (10 MHz in this case).
The possible reference values for the RBW, CBW (bearing bandwidth), Span (in the Spectrum window) and measurement time are dependent on each other.
The information shown in the Status bar changes according to the window that is currently selected.
As the individual elements in the direction finder are polled sequentially, the update rate when direction finding is considerably slower than the measurement time setting. The time until the next refresh is shown as the Scan Time or Cycle Time in the Status bar. It depends on the frequency, bearing bandwidth, and RBW.
The bearing angle relative to north is shown in both the Bearing result window and on the Map. You can manually enter a north offset for the direction finding antenna. The direction of north can also be calculated automatically from consecutive GPS positions if the direction finder is moved (when taking bearings from a vehicle).
Individual bearings can be saved by pressing a button and can be recalled in order to perform localization or for subsequent documentation. Screenshots can also be saved by pressing a button.

When taking bearings from a moving vehicle with the localization function activated, all the bearings together with the particular locations where the bearings were taken are computed as a localization result and shown on the Map as a so-called heatmap. In theory it should therefore only be necessary to travel past the transmitter close by once in each of two directions at right angles to each other to get a display of the transmitter location.

4.2 Automatic direction finding function test

4.2.1 Sensitivity referred to field strength

The sensitivity test was initially performed at the Munich office. For this, the ADFA2 was attached to the roof of the standard test van using a magnetic plate. This location is not ideal, because there is a metal railing around the roof of the van which is always in line of sight of the direction finding antenna. Additionally, there is a telescopic mast right next to the direction finding antenna. A better position on the standard test van is, however, not possible when the magnetic fixing is used.
The bearing signals were transmitted from a test transmitter through a broadband antenna placed approximately 20 m away. To assess the usability of the Narda system with regard to field strength measurements, the level display was set to field strength and the actual field strength was measured using a calibrated test antenna.
The main results of this test were:

- A level was often displayed when the signal (RMS Trace) was just in the region of the intrinsic noise level.
- The bearings of almost all signals and frequencies tested pointed in the correct direction, i.e. no appreciable effect of the roof railing or mast could be discerned.
- Bearings on pulsed signals were as a rule possible at levels up to almost the same level as continuous signals. The bearing algorithm appears to eliminate the noise components in the signal gaps very effectively.
- A correct bearing result was possible even with signals well below the minimum bearing time of 1 ms (tested with a DECT dummy signal with pulse length 90 µs and 10 ms gap) as soon as the RMS weighted signal rose above the noise floor.
- Despite the unfavorable location of the direction finding antenna and the effects of ground reflections, the field strength displayed on the SignalShark matched the field strength on the test antenna relatively well.

The transmitter was placed on the office roof for the next test. The elevation displayed by the direction finder varied between 19 and 22 degrees and closely matched the actual elevation of 20 degrees.

4.2.2 Sensitivity compared to the R&S DDF550

Since the R&S DDF550 has in the meantime become the standard direction finder fitted on the TMS test van, we made a comparison between this R&S direction finder and the ADFA2/SignalShark. We used randomly selected airborne transmitters as well as FM signals from the test transmitter 20 m away from the test van for this. The test was made with the vehicle stationary, and the environment was characterized to some extent by reflections. The result is therefore only to be considered as being exploratory.
This exploratory result is frequency dependent, as follows:

Frequency range	Difference between Narda and R&S
Around 150 MHz	R&S direction finder between 0 and 10 dB more sensitive
Around 420 MHz	Narda direction finder often more sensitive than R&S, sometimes by up to 10 dB
Around 800 MHz	Both direction finders roughly the same sensitivity
Around 1880 MHz	Narda direction finder between 0 and 5 dB more sensitive

Table 4-1: Differences in sensitivity between the ADFA2/SignalShark and R&S DDF550

The lower sensitivity of the Narda system compared to the DDF550 at low frequencies is probably due to the smaller size of the antenna. At higher frequencies, both direction finders are at least equally sensitive with the Narda direction finder slightly ahead. This is explained mainly by the lower noise figure of the SignalShark.

4.2.3 Bearing runs

Various runs were undertaken with the test van in order to test the automatic localization function. The ADFA2 antenna was fitted to the retracted test van mast using the fitting supplied with it, so that it was above all the metal parts on the van roof. However, this meant that the vehicle height was now around 4 m, so it could not be driven down some narrow streets because of overhanging branches.

Figure 4-2: Test van fitted with R&S DDF550 and ADFA2 antennas

For the first run, a FM signal (3 kHz deviation) was transmitted from the office roof. The run was roughly in the direction of the target, starting from a point about 1 km from it. Localization was started at the beginning of the run. The function displayed a continuously updated color area (heatmap), which progressively narrowed down the calculated location of the transmitter. The path traveled is shown by a black line on the map.

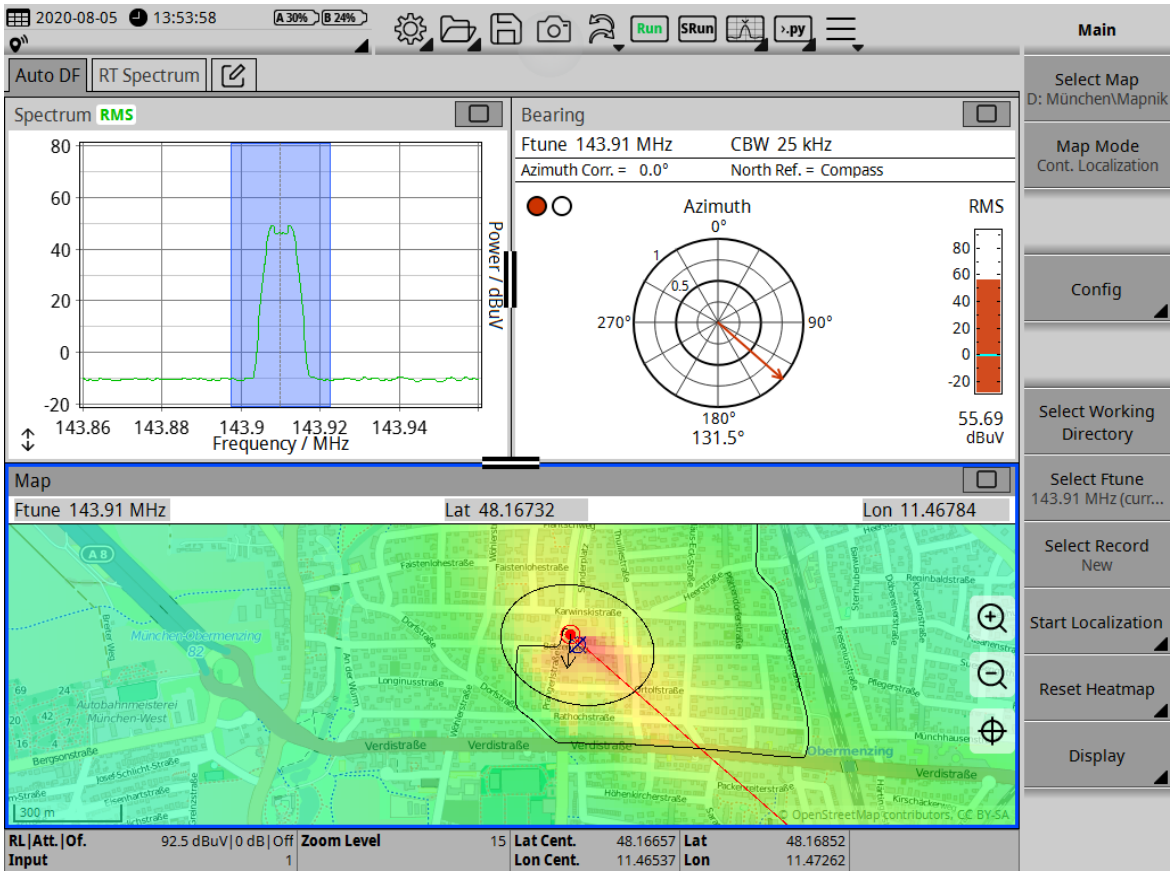

Figure 4-3: Localization result of bearings taken on the move on a FM transmitter on the office roof

The entire area traversed by the test van is built up with buildings higher than the direction finding antenna, so that the direction finder mostly had to rely on reflections. A line of sight only existed within about 50 m of the transmitter.
Mid way through the run, the target area had already been narrowed down to within one city block (about 200 x 200 m). At the end of the run, the calculated transmitter location was precisely on the building where it was installed.
For a second run, a TETRA base station signal was chosen at random. The location of the transmitter was unknown. The run was started from the office. Both direction finders initially indicated a rough direction towards the city center, but after a distance of about 300 m this changed to indicate a direction away from the city. The remainder of the run was generally in the direction of the indicated target area.

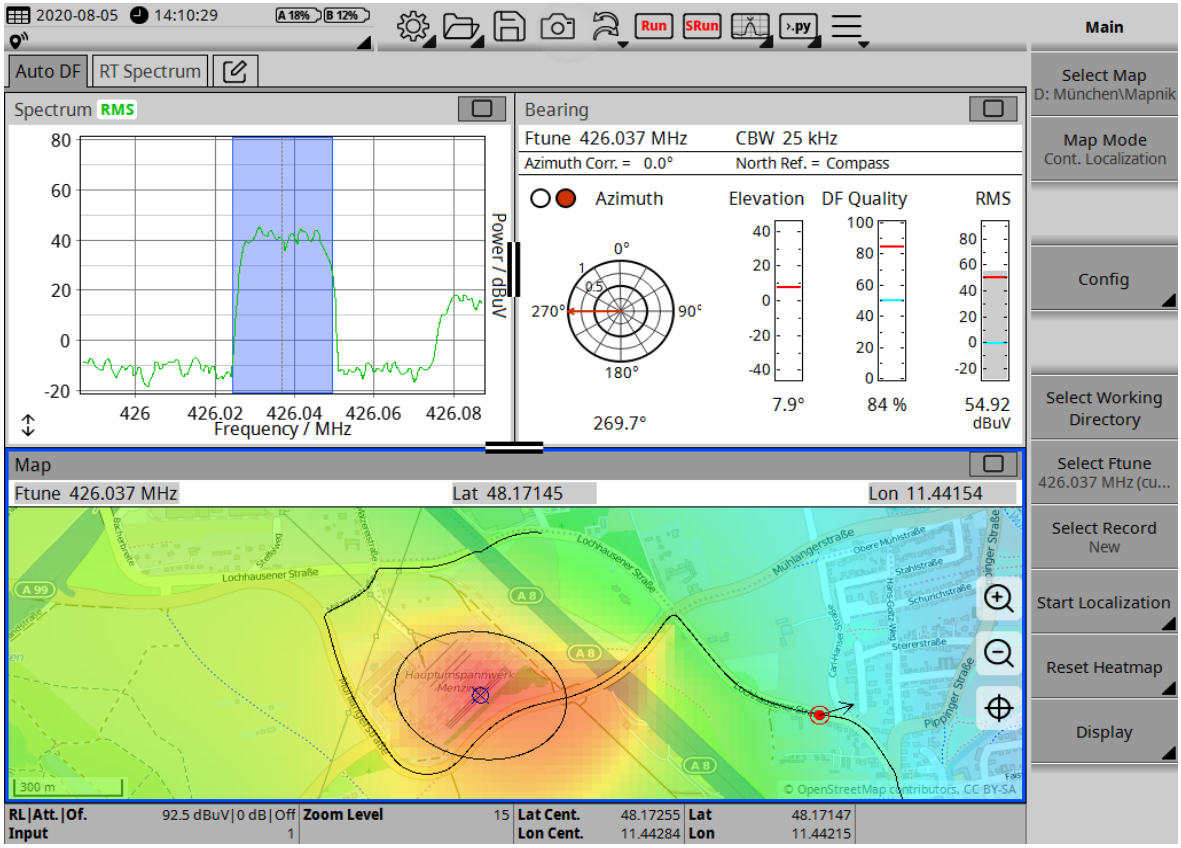

Figure 4-4: Bearings taken on the move towards a TETRA base station

Here too, it was very easy to determine the location of the transmitter. The calculated and actual positions of the transmitter matched exactly, even though we deliberately did not take a direct route to the transmitter, but instead drove around and above it (see black line in figure 4-4).
In a third run, we attempted to localize a power line carrier signal. The frequency was set to 13.9 MHz and the measurement time to 200 ms. The PLC was in standby mode and therefore only occasionally transmitting short pulses. Nevertheless, the signal could be made clearly visible. Automatic localization failed, however, due to the fact that the run passed by several buildings where PLC devices were being operated. Understandably, the system is unable to handle such situations, as the assumption is always that there is only one transmitter on the bearing frequency.

To optimize direction finding of PLC, we determined the following settings empirically:

- Center frequency: Search the RT spectrum for a frequency between 10 and 17 MHz that is not in the notched area and that is as far as possible from the carriers of other interference signals and payload signals
- Span: 1 – 5 MHz
- CBW: 200 – 500 kHz
- Meas. Time: 2 - 5 ms
- Min. DFQual: 50%
- Min. Stability: 1 dB
- DF Squelch: adjust this so that only the PLC pulses get through

When combined with the localization function, this indicates a target direction after about 20 – 30s. A target area forms when the location moves slowly (driving). However, this requires that the PLC being searched for always generates the highest receive level of all the other interferers throughout the entire bearing run.

5 Summary

Operation using predefined tasks was simple, even for “beginners” with little experience of direction finding.
Manual localization using the Horizontal Scan function produced good to very good results in the test. Calculation from several bearings taken from different positions is very helpful in localizing the building (or even the area within larger buildings) where the interference signal is coming from. The SignalShark with Horizontal Scan would also be a great help for close detection of illegal transmitters (e.g. jammers), which has to be done as inconspicuously and as quickly as possible, since the bearings can be saved directly by pressing a button and the localization result can be properly documented later.
Apart from the localization of interference sources in the immediate vicinity, the Horizontal Scan function could also be utilized for localizing very weak interference signals (e.g. antenna amplifiers for emergency services or air traffic control). Here suitable, widely separated measurement points are chosen (e.g. hilltops) to try and capture the signal using very low noise preamplifiers and directional antennas. This is currently possible by manually entering “external” bearings.
Unfortunately, the firmware did not always prove to be stable, so that some bearings were incorrectly saved or not saved at all.
The automatic direction finding function enabled localization of signals that could be received over a long distance much more easily than with the equipment used until now in the direction finding vans. The automatic calculation from all the bearing values taken during a vehicle run gave a very reliable result for the area or location of the transmitter.
The acquisition of the SignalShark/ADFA2 system would give the following advantages over the currently available equipment:

- The mobile concept of the system and the fact that it can be battery operated makes it possible to equip every service van and even automobiles as direction finding vehicles within a short space of time.
- The automatic localization function makes it much easier than before, even for inexperienced personnel, to locate stationary signal sources.
- The higher sensitivity of the Narda direction finding system compared to the DDF550 at high frequencies allows an increased direction finding range.
- The system also allows direction finding of interference signals in the short wave range, which is currently only possible using the HF direction finder on our Dora vans.
- The combination of the SignalShark, handheld direction finding antenna and ADFA2 is so universal in its application that it is the only equipment needed for many purposes.
- The availability of a 25m RF / control cable makes it possible to operate the ADFA2 on the service van mast at a height of 10 m. This gives the direction finder an otherwise unavailable degree of practical usability at large events, where the service van is often squeezed between several transmitter vehicles. This also allows useful directional information to be obtained even with weak or intermittent interference signals.
- The combination of the SignalShark and handheld direction finding antenna is much more sensitive, particularly at high frequencies, than the currently used combination of the R&S PR100 and HE200 or HE300. At the same time, the SignalShark has a greater overload immunity. Taken together, this results in corresponding advantages when localizing weak interference signals.

As previously tested, the SignalShark has very good HF characteristics (sensitivity, overload immunity, dynamic range) which are better than our current portable instruments. Nevertheless, it must be said in conclusion that the SignalShark is currently missing some essential measurement functions (e.g. time domain measurements, triggers, I/Q recording and playback) for it to be a real time analyzer, and for it to replace instruments such as the Tektronix RSA for the TMS. According to Narda, these functions are being developed.
A detailed list of requests and criticisms that arose during the tests as well as the individual test results are attached in the Annex, and were discussed with Telemeter’s Herr Treichel when the equipment was collected for return.

Annex (by Narda Safety Test Solutions)

All references to page numbers are to the page numbers in the original test report, not the page numbers in the report with introductory letter and annex.

Page 14 last paragraph:

"…Nevertheless, it must be said in conclusion that the SignalShark is currently missing some essential measurement functions (e.g. time domain measurements, triggers, I/Q recording and playback) for it to be a real time analyzer, and for it to replace instruments such as the Tektronix RSA for the TMS.. …."

Note from Narda: An integrated, IQ-based transient recorder with trigger unit and analysis functions, such as Time Domain, is planned for 2021 in the SignalShark roadmap.

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7
72793 Pfullingen, Germany
Phone: +49 (0) 7121-97 32-0
Fax: +49 (0) 7121-97 32-790
E-mail: info@narda.com

www.narda-sts.com

Narda Safety Test Solutions
North America Representative Office
435 Moreland Road Hauppauge, NY
11788, USA
Phone: +1 631 231-1700
Fax: +1 631 231-1711
E-mail: info@narda.com

Narda Safety Test Solutions GmbH
Beijing Representative Office Xiyuan Hotel,
No. 1 Sanlihe Road, Haidian
100044 Beijing, China
Phone +86 10 6830 5870
support@narda-sts.cn

® Names and Logo are registered trademarks of Narda Safety Test Solutions GmbH - Trade names are trademarks of the owners.

Bundesnetzagentur

ZY531/00265/20

Testbericht

Peilen mit dem Handheld Analyzer Narda SignalShark

BNetzA Standort München
Betzenweg 32
81247 München

Marcus Krah, Augs8-7
Thomas Hasenpusch, Augs8-2

Version 1.0

Stand: 27.08.2020

1 Einleitung

Im Juli 2020 hatten wir für etwa zwei Wochen die Möglichkeit, Peilfunktionen mit dem dem Real Time Handheld Analyzer SignalShark der Firma Narda in der Dienststelle München (DSt) zu testen. Vertreter der Firma Narda und Telemeter Electronic stellten uns dazu ein Leih-Gerät mit Zubehör zur Verfügung.

Das Equipment bestand aus der Basic Unit selbst, dem SignalShark 3310, dem dazugehörigen Antennen Kit zur manuellen Peilung, sowie aus der Peilantenne ADFA2 zur automatischen Peilung.

Der vorliegende Test beschäftigt sich mit den beiden Peilfunktionen (manuell und automatisch). Die HF-Eigenschaften der SignalShark Basic Unit und die generelle Bedienung des SignalShark wurden bereits 2019 getestet (siehe Vorgang ZY531/00161/19).

2 Systembeschreibung

2.1 Hardware

Das Leih-Gerät kam mit folgendem Equipment:

- SignalShark 3310 Basic Unit
- Antennengriff (incl. integriertem Vorverstärker und Kompass)
- Magn. Loopantenne (9 kHz – 30 MHz)
- Richtantenne 1 (20MHz - 250MHz)
- Richtantenne 2 (200MHz - 500MHz)
- Richtantenne 3 (400MHz - 8GHz)
- Automatische Peilantenne ADFA2 (10 MHz – 8 GHz)
  mit Magnethaft- und Mastbefestigung
- 2 Rollkoffer mit Zubehör

Bild 2-1: SignalShark Analysator mit Handpeilantenne (oben) und automatischer Peilantenne ADFA2 (unten)

Wesentliche technische Daten des Analysators:

Parameter	Wert
Frequenzbereich	8 kHz – 8 GHz
Realtime-Bandbreite	40 MHz
Min. Pulszeit	3.125 µs*) (100% Erfassung)
RBW (Realtime Spektrum)	1 Hz – 800 kHz
Detektoren	Pk, RMS, AV, Sample, CISPR AV, QP
Rauschmaß, typisch (44-3000MHz)	12 dB (DANL =-162 dBm/Hz)
IP3, typisch (44-3000 MHz)	+14 dBm
Datenschnittstellen	USB, LAN
Akkulaufzeit	3 Std.
Abmessungen	23 x 33 x 8,5 cm
Gewicht	4,4 kg

Tabelle 2-1: Technische Daten SignalShark

*) Pulse >3,125 µs Länge werden pegelrichtig dargestellt, Pulse ab 2 ns Länge werden zwar erfasst, aber entsprechend des Puls/Pausenverhältnisses im Pegel abgeschwächt.

Wesentliche Daten der ADFA2- Peilantenne:

Parameter	Wert
Frequenzbereich	10 MHz – 8 GHz
Min. Pulszeit	1 ms**)
Polarisation	Vertikal
Ergebnisausgabe	Bis 200 MHz: Azimut Ab 200 MHz: Azumut und Elevation
Durchmesser	48 cm
Gewicht	10 kg

Tabelle 2-2: Technische Daten ADFA2-Peilantenne

**) Pulse < 1 ms können bei ausreichendem Pegel gepeilt werden; es wird aber über die Peilzeit gemittelt (d. h. auch Rauschanteile mitgepeilt).

Auf dem Analysator läuft das Betriebssystem Windows 10. Die getestete Firmware-Version war 1.6.0 vom 15.07.2020. Dieser Firmwarestand bot im Zusammenhang mit den getesteten Peilfunktionen folgende Eigenschaften:

- Zur Darstellung der Peil- und Ortungsergebnisse war Kartenmaterial vom Raum München vorinstalliert und daher offline verfügbar.
- Eigene Messroutinen können über Python-Skripte programmiert und direkt auf dem Gerät ausgeführt werden.
- Analoge Demodulation (FM, AM, SSB) und Audioaufnahme ist möglich.

Die ADFA2 Peilantenne ist kalibriert, so dass eine Anzeige des Pegels direkt als Feldstärke möglich ist.

3 Manuelle Peilung mit der Handpeilantenne

3.1 Prinzip

Im Modus „Horizontal Scan“ wird bei Drehung der Handpeilantenne das horizontale Antennendiagramm dargestellt, ähnlich der Darstellung in FuMOS beim Rotorsuchlauf. Die Richtung des Pegelmaximums wird automatisch ermittelt und als Pfeil dargestellt. Die Messung selbst kann durch Knopfdruck an der Handantenne gestartet und gestoppt werden. Es müssen keine 360°-Drehungen durchgeführt werden: auch Drehungen um das (zu erwartende) Pegelmaximum herum sind ausreichend. Mehrere Drehungen erhöhen die Genauigkeit, da alle Ergebnisse in die Berechnung des Pegelmaximums einfließen. Am Ende der Messung kann die Peilung auf Knopfdruck abgespeichert werden. Dabei wird auch die GPS-Position, an der die Peilung durchgeführt wurde, gespeichert.

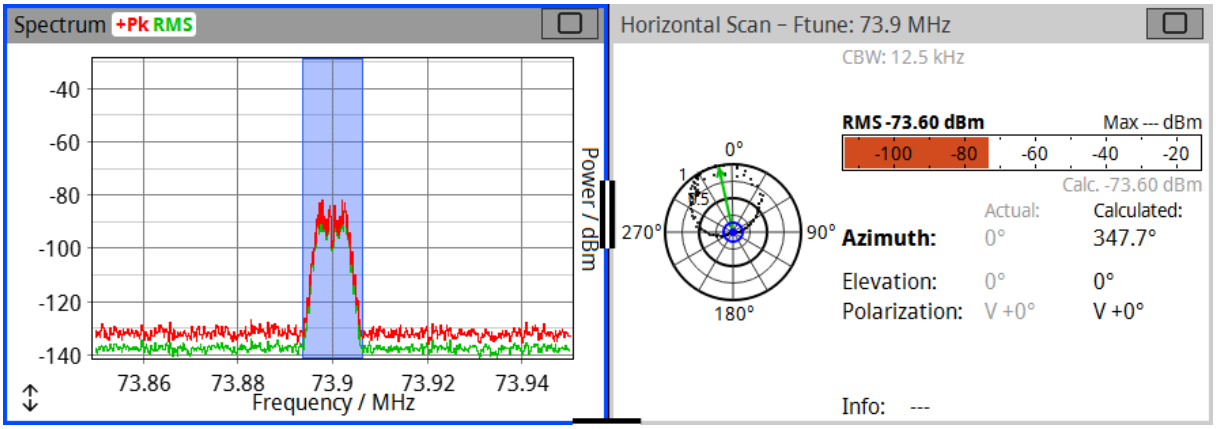

Bild 3-1: Beispiel einer Horizontal Scan Peilung

Das berechnete Peilergebnis (grüner Pfeil in Bild 3-1) kann vor dem Abspeichern noch manuell korrigiert werden.

Die Peilung kann dann an einem anderen Ort wiederholt werden. Anschließend wird der Standort des Senders mit Hilfe aller im selben Verzeichnis gespeicherten Handpeilungen berechnet und als Heatmap auf der Karte dargestellt.

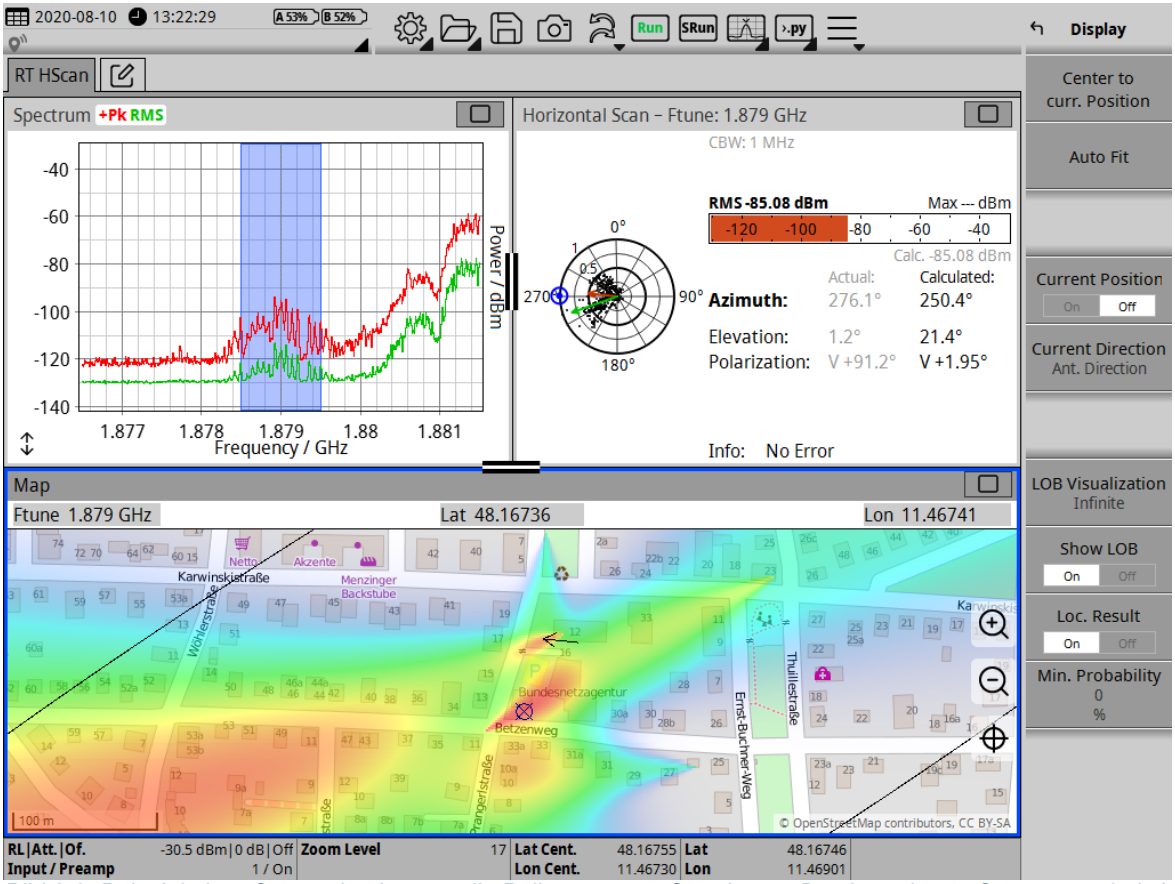

Bild 3-2: Beispiel einer Ortung durch manuelle Peilungen an 5 Standorten. Das berechnete Ortungsergebnis ist mit dem Kreis/Kreuz-Symbol gekennzeichnet

Der Haupteinsatzzweck der manuellen Peilung ist das Lokalisieren von Störungsquellen in unmittelbarer Nähe, d. h. dort, wo man mit dem Fahrzeug nicht mehr hinkommt (z. B. zwischen zwei Häusern, auf Firmengeländen oder in Innenhöfen).

3.2 Test der manuellen Peilfunktion

Zunächst haben wir einen Testsender auf dem Dach der DSt positioniert und versucht, ihn durch Peilungen von verschiedenen Positionen in Entfernungen zwischen 30 und 300m um das Gebäude herum zu orten. Folgende Signale und Frequenzen wurden getestet:

Frequenz	Signal/Bandbreite	Senderstandort	Ergebnis
73,9 MHz	FM / 3 kHz	DSt-Dach	Ortung des Hauses nicht genau, da einige Peilungen durch Hindernisse (andere Häuser) hindurch gemacht wurden und daher keine Sichtverbindung herrschte (siehe Bild 3-3)
1879 MHz	DECT / 1 MHz	DSt-Dach	Sehr genaue Ortung des Hauses. Gute Empfindlichkeit der Handpeilantenne bei eingeschaltetem Vorverstärker
1879 MHz	DECT / 1 MHz	Innerhalb des DSt-Gebäudes	Sehr sichere Ortung des Hauses, obwohl von keinem Peilpunkt aus Sichtverbindung zum Sender bestand.

Tabelle 3-1: Ergebnisse der Testpeilungen mit Horizontal Scan

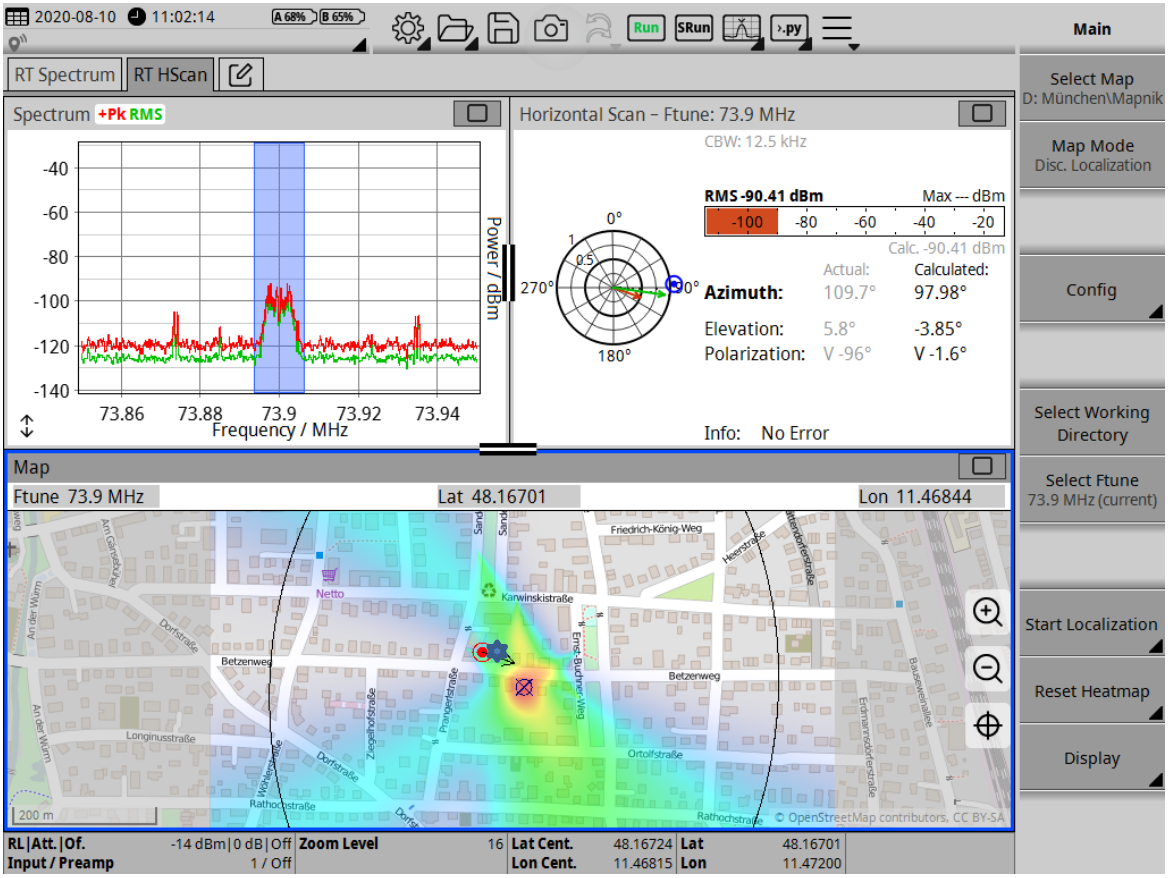

Bild 3-3: Ergebnis einer Testortung auf 73,9 MHz. Der tatsächliche Senderstandort ist mit einem blauen Stern markiert.

Bei den Tests zeigte sich, dass die Funktionen der Save-Taste und der Start/Stopp-Taste auf der Handantenne nicht immer korrekt sind. Dadurch kam es manchmal zur ungewollten Speicherung von ungültigen „Peilungen“, und manchmal konnten gültige Peilungen gar nicht abgespeichert werden. Nach einem Neu-Laden des Horizontal Scan- Modus Neu-Eingabe aller Einstellungen war der Fehler (zunächst) wieder behoben.

Für eine genaue Peilung in der unmittelbaren Nähe der Störungsquelle ist es erforderlich, vor der Peilung an einem neuen Standort etwas zu warten, um die Genauigkeit der GPS-Positionierung zu erhöhen. Aber auch dann war die Positionsbestimmung der größte Beitrag in der Ungenauigkeit der Ortung (siehe Bild 3-4).

Bild 3-4: Vergleich der automatisch erzeugten (gelbe Punkte) und tatsächlichen Messpositionen (grüne Kreuze)

Bei den Lokalisierungen im hohen Frequenzbereich (getestet am Beispiel von DECT-Signalen) ist das Antennendiagramm naturgemäß sehr scharf und Reflektionen sehr stark. Hier zeigte sich, dass man das Peilergebnis sehr verbessern kann, wenn man nach einem „blinden“ 360°-Schwenk im Bereich des dabei gefundenen Maximums noch einige weitere Schwenks mit etwas anderer Antennenposition/-Höhe/-Elevation macht. Bei der kurzen Wellenlänge (16 cm) kann man schon bei geringfügigen Änderungen der Positionswerte Reflektionen recht gut ausmitteln bzw. eliminieren. Mit diesem Verfahren konnte der Senderstandort auf dem Dach der DSt extrem gut bestimmt werden (siehe Bild 3-2, wo berechneter und tatsächlicher Standort exakt übereinstimmen).

3.3 Empfindlichkeitsvergleich

Die Kombination aus tragbarem Empfänger und Handpeilantenne wird in der Praxis oft benutzt, um auch sehr schwache Signale zu lokalisieren, insbesondere im Frequenzbereich bis 20 MHz (PLC, DSL) und ab 2400 MHz (WLAN).

Um die Eignung des Narda-Systems bei schwachen Signalen im Vergleich mit der derzeit beim Prüf- und Messdienst (PMD) eingesetzten Kombination aus R&S PR100 und Handpeilantenne HE200/HE300 zu beurteilen, wurde ein entsprechender Test auf dem Dach der DSt mit beiden Systemen durchgeführt. Dabei wurden die Testsignale von einem Messsender über eine Breitband-Discone in ca. 20 m Entfernung zur jeweiligen Handpeilantenne erzeugt. Es wurde der erzielbare Signal-/Rauschabstand in einer Messbandbreite von ca. 1,5 kHz festgehalten. Beide Systeme besitzen einen in die Handpeilantenne integrierten Vorverstärker, der manuell zugeschaltet werden kann. Weil dieser Vorverstärker in Umgebungen mit starken Signalen leicht übersteuert, ist dessen Einsatz in vielen Fällen nicht möglich. Die Messungen wurden daher jeweils mit und ohne den integrierten Vorverstärker durchgeführt.

Die Ergebnisse waren wie folgt:

- Bei Frequenzen bis 20 MHz sind beide Systeme ohne Vorverstärker etwa gleich empfindlich, mit Vorverstärker ist das Narda-System bis zu 7 dB empfindlicher
- Bei Frequenzen um 150 MHz ist das Narda-System zwischen 7 und 11 dB empfindlicher
- Bei Frequenzen oberhalb 200 MHz ist das Narda-System im Mittel etwa 22 dB empfindlicher als der PR100 mit HE200.

Die Einzelergebnisse sind der Anlage zu entnehmen. Es muss angemerkt werden, dass dieser Test nur orientierende Vergleichswerte geliefert hat. Es wurde zwar versucht, die Antennen am selben Ort zu positionieren und das jeweilige lokale Pegelmaximum zu erreichen, aber die HF-Umgebung war nicht reflektionsfrei, weshalb starke Pegelschwankungen nicht immer vollständig ausgeglichen werden konnten.

4 Automatische Peilung mit der ADFA2

4.1 Prinzip

Die ADFA2-Antenne wird mit einem kombinierten HF- und Datenkabel mit dem SignalShark verbunden. Sie wird beim Einstecken automatisch erkannt. Über das Task-Menü kann dann eine der vordefinierten Messeinstellungen geladen werden. Der Task „Auto DF“ zeigt standardmäßig drei Fenster:

- Spektrum
- Peilergebnis
- Karte

Ab 200 MHz wird auch die Peilgüte sowie der Elevationswinkel des einfallenden Signals angezeigt, unter 200 MHz nur der Azimut.

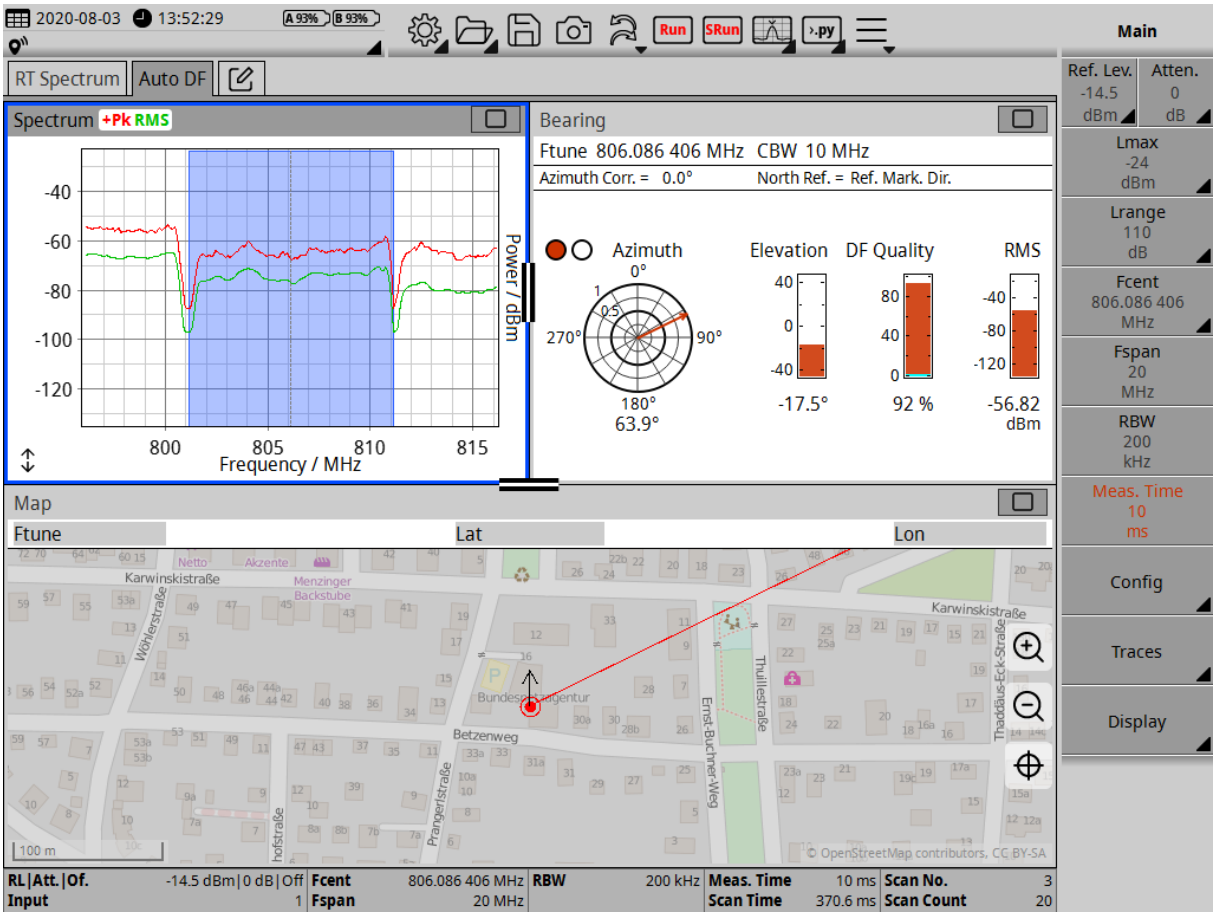

Bild 4-1: Standard-Bildschirmdarstellung am Beispiel eines LTE800-Signals

Im Spektrumsfenster wird die eingestellte Peilbandbreite „CBW“ als blau hinterlegter Bereich dargestellt, so dass man jederzeit kontrollieren kann, ob genau das gesuchte Signal im Peilfenster ist.

Mittenfrequenz und Span können außer numerisch auch über das Verschieben der Frequenzachse mit der Maus bzw. ein Schieben innerhalb des Spektrumsbereiches verändert werden.

Der im Peilfenster angezeigte RMS-Pegel ist der Gesamtpegel in der eingestellten Peilbandbreite (hier 10 MHz).

Die möglichen Eckwerte für RBW, ChannelBw (Peilbandbreite), Span (im Spektrumfenster) und Messzeit sind voneinander abhängig.

Die Informationen der Statusleiste ändern sich je nach aktuell ausgewähltem Fenster.

Da die Einzelelemente des Peilers nacheinander abgefragt werden, ist die Updaterate bei der Peilung wesentlich niedriger als die eingestellte Messzeit. Die Zeit bis zur nächsten Aktualisierung wird als Scan Time oder Cycle Time in der Statusleiste angezeigt. Sie hängt von der Frequenz, der Peilbandbreite und der RBW ab.

Sowohl im Peilergebnisfenster als auch auf der Karte wird der Peilwinkel relativ zu Nord angezeigt. Ein Nordversatz der Peilantenne kann manuell eingegeben werden. Wenn der Peiler sich bewegt (bei Peilfahrten) kann die Nortdrichtung auch automatisch mit Hilfe aufeinanderfolgender GPS-Positionen berechnet werden.

Einzelne Peilungen können auf Knopfdruck abgespeichert und entweder zu einer Ortung oder zur nachträglichen Dokumentation wieder geladen werden. Screenshots sind ebenfalls auf Knopfdruck speicherbar.

Bei Peilfahrten mit aktiver Ortungsfunktion werden alle Peilungen zusammen mit der jeweiligen Peilposition zu einem Ortungsergebnis verrechnet und als sog. Heatmap auf der Karte dargestellt. Theoretisch muss man daher nur einmal in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen in der Nähe des Senders vorbeifahren, um seinen Standort angezeigt zu bekommen.

4.2 Test der automatischen Peilfunktion

4.2.1 Empfindlichkeit bezogen auf Feldstärke

Zunächst wurde ein Empfindlichkeitstest in der DSt München durchgeführt. Dazu wurde die ADFA2 per Magnetplatte auf dem Dach des Standard-Messwagen (MKW) angebracht. Diese Position ist insofern ungünstig, weil sich auf dem Dach eine umlaufende Metallreling befindet, durch die der Peiler immer quasi „hindurchschaut“. Außerdem befand sich der Teleskopmast direkt neben der Peilantenne. Bei Verwendung der Magnetbefestigung ist auf dem Standard-MKW jedoch keine bessere Position möglich.

Die Peilsignale wurden von einem Messsender über eine Breitbandantenne in ca. 20 m Entfernung gesendet. Um die Nutzbarkeit des Narda-Systems hinsichtlich Feldstärkemessungen zu beurteilen, wurde die Pegelanzeige auf Feldstärke gestellt und die tatsächliche Feldstärke mit Hilfe einer kalibrierten Messantenne nachgemessen.

Dieser Test brachte folgende wesentlichen Ergebnisse:

- Eine Peilanzeige erfolgt oft bereits wenn das Signal (RMS Trace) gerade im Bereich des Eigenrauschpegels ist.
- Die Peilungen fast aller getesteten Signale und Frequenzen wiesen in die richtige Richtung, d. h. ein nennenswerter Einfluss der Dachreling und des Mastes war nicht zu erkennen.
- Die Peilungen gepulster Signale waren in der Regel bis fast zum gleichen Pegel möglich wie Dauersignale. Der Peilalgorithmus scheint die Rauschanteile in den Pausenzeiten recht gut zu eliminieren.
- Auch bei Pulsen weit unterhalb der 1 ms Mindestpeilzeit (getestet bei einem DECT-Dummy mit 90 µs Pulslänge und 10 ms Pause) war ein korrektes Peilergebnis möglich, sobald das RMS-bewertete Signal aus dem Rauschen kam.
- Trotz der ungünstigen Position der Peilantenne und der Einflüsse von Bodenreflektionen stimmte die Feldstärkeanzeige des SignalSharks relativ gut mit der Feldstärke an der Messantenne überein.

In einem anschließenden Test wurde der Sender auf dem Dach der DSt positioniert. Die dabei vom Peiler angezeigte Elevation schwankte zwischen 19 und 22 Grad und stimmte sehr gut mit der tatsächlichen Elevation von 20 Grad überein.

4.2.2 Empfindlichkeit im Vergleich mit dem R&S DDF550

Da der R&S DDF550 inzwischen der Standard-Peiler auf den Messwagen des PMD ist, haben wir einen Vergleich zwischen ADFA2/SignalShark und diesem R&S-Peiler durchgeführt. Dazu wurden zufällig ausgewählte Sender aus der Luft, sowie FM-modulierte Signale vom Messsender in 20 m Entfernung zum MKW verwendet. Der Test fand im Stand statt und die Umgebung war teilweise von Reflektionen geprägt. Daher ist das Ergebnis nur orientierend zu werten.

Das orientierende Ergebnis ist frequenzabhängig wie folgt:

Frequenzbereich	Unterschied Narda-R&S
Um 150 MHz	R&S-Peiler zwischen 0 und 10 dB empfindlicher
Um 420 MHz	Narda-Peiler oft empfindlicher als R&S, manchmal bis zu 10 dB
Um 800 MHz	Beide Peiler etwa gleich empfindlich
Um 1880 MHz	Narda-Peiler zwischen 0 und 5 dB empfindlicher

Tabelle 4-1: Unterschied zwischen ADFA2/SignalShark und R&S DDF550 in der Empfindlichkeit

Die geringere Empfindlichkeit des Narda-Systems bei niedrigen Frequenzen gegenüber dem DDF550 ist vermutlich der geringeren Antennengröße zuzuschreiben. In höheren Frequenzbereichen liegen beide Peiler aber mindestens gleichauf, mit leichtem Vorsprung des Narda-Peilers. Dieser erklärt sich wohl hauptsächlich durch die geringere Rauschzahl des SignalSharks.

4.2.3 Peilfahrt

Um die automatische Ortungsfunktion zu testen, wurden verschiedene Peilfahrten mit dem MKW durchgeführt. Die ADFA2-Antenne war dabei mit der ebenfalls gelieferten Halterung auf dem eingefahrenen MKW-Mast montiert, so dass sie über den Metallteilen auf dem Fahrzeugdach war. Allerdings beträgt die Fahrzeughöhe dann schon etwa 4 m, so dass man nicht durch alle kleineren Straßen kommt (herabhängende Zweige).

Bild 4-2: MKW mit R&S DDF550 und ADFA2-Antennen

Bei der ersten Fahrt wurde ein FM-moduliertes Signal (3 kHz Hub) vom Dach der DSt gesendet. Die Peilfahrt führte von einem ca. 1 km entfernten Startpunkt grob in die Richtung des Ziels. Die Ortung wurde zu Beginn der Fahrt gestartet. Sie zeigt laufend aktualisiert eine farbliche Fläche (Heatmap) an, die den berechneten Senderstandort immer weiter eingrenzt. Ein schwarzer Strich zeigt die gefahrene Strecke auf der Karte.

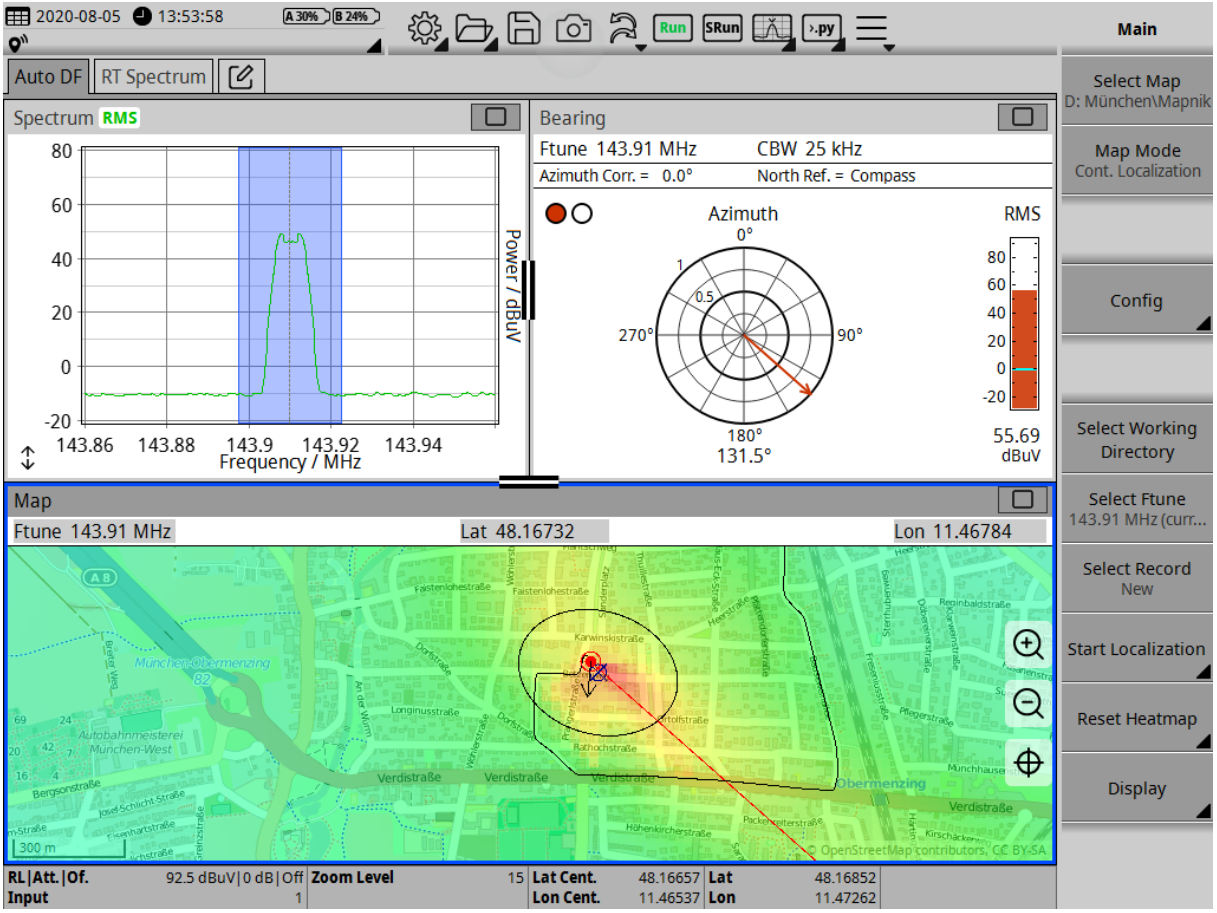

Bild 4-3: Ortungsergebnis der Peilfahrt mit FM-Sender auf der DSt

Das gesamte abgefahrene Gebiet ist mit Häusern bebaut, die höher sind als die Peilantenne, so dass der Peiler meist von Reflektionen „leben“ musste. Sichtverbindung zum Sender bestand erst ab einer Entfernung von ca. 50 m.

Schon in der Mitte der Fahrt war das Zielgebiet auf einen Straßenblock (ca. 200 x 200 m) eingegrenzt. Am Ende der Fahrt war der berechnete Senderstandort exakt auf dem Haus, auf dem er installiert war.

Bei einer zweiten Peilfahrt wurde wahllos ein TETRA-Basissignal gewählt. Der Senderstandort war unbekannt. Gestartet wurde wieder an der DSt. Nachdem zunächst beide Peiler die grobe Richtung Innenstadt zeigten, änderte sich die Seite nach ca. 300 m Fahrt in Richtung stadtauswärts. Die weitere Fahrt wurde wieder grob in der Richtung des angezeigten Zielgebietes geführt.

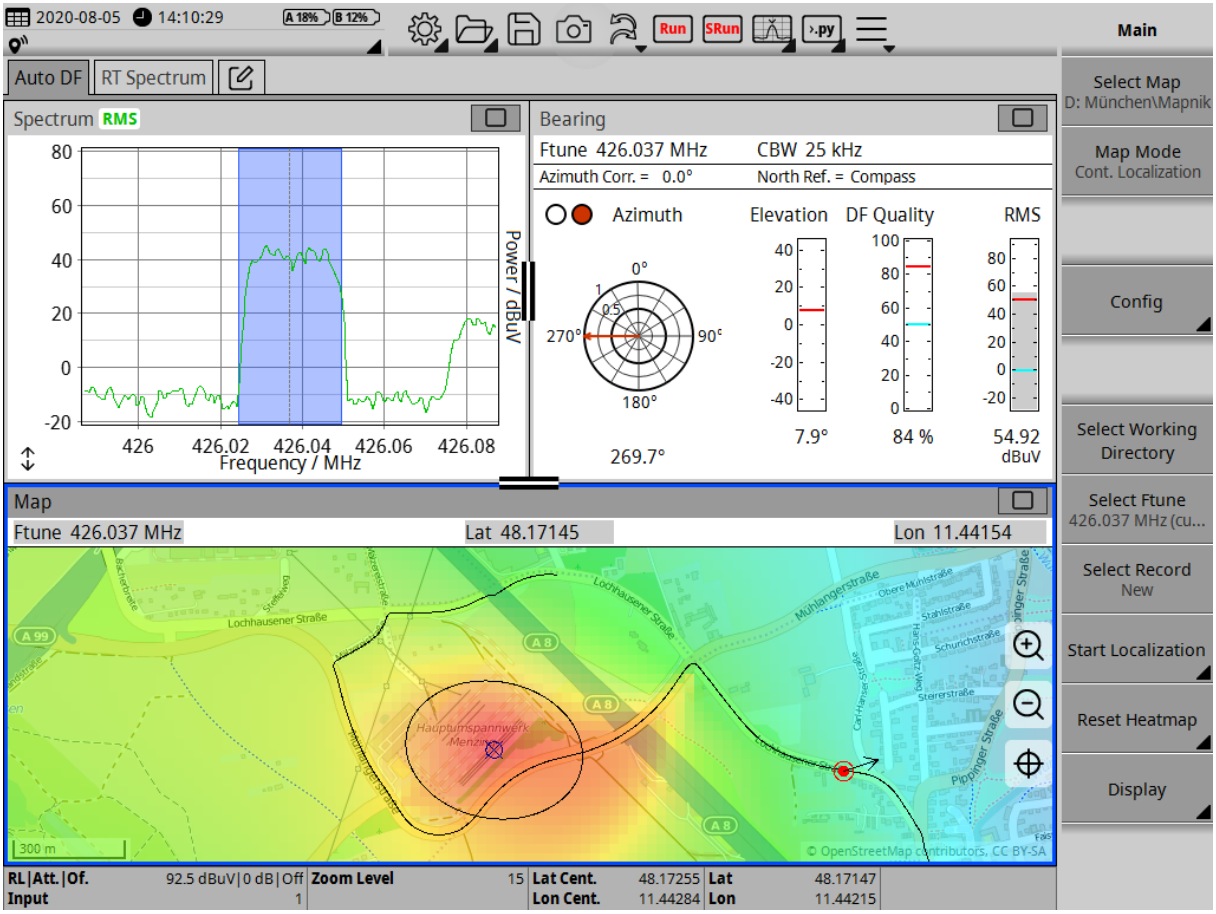

Bild 4-4: Peilfahrt zu einer TETRA-Basisstation

Auch hier war es sehr einfach, den Standort des Senders zu ermitteln. Berechneter und tatsächlicher Standort stimmten exakt überein, obwohl am Ende absichtlich nicht die direkte Straße zum Sender genommen, sondern oberhalb vorbeigefahren wurde (siehe schwarze Linie in Bild 4-4.

In einer dritten Peilfahrt wurde versucht, ein Powerline-Signal zu lokalisieren. Es wurde eine Frequenz von 13,9 MHz und eine Messzeit von 200 ms gewählt. Das PLC war im Leerlauf und sendete daher nur gelegentlich kurze Pulse. Dennoch konnte das Signal eindeutig sichtbar gemacht werden. Eine automatische Lokalisierung scheiterte jedoch an der Tatsache, dass wir im Laufe der Peilfahrt an mehreren Häusern verbeifuhren, in denen PLC-Geräte betrieben wurden. Diese Situation kann das System verständlicherweise nicht handhaben, da es immer nur von einem Sender auf der Peilfrequenz ausgeht.

Um PLC optimal peilen zu können, haben wir empirisch folgende Einstellungen ermittelt:

- Mittenfrequenz: Im RT-Spektrum eine Frequenz zwischen 10 und 17 MHz suchen, die nicht im genotchten Bereich liegt und auf der Träger von anderen Störquellen sowie Nutzsignale möglichst weit entfernt sind
- Span: 1 – 5 MHz
- CBw: 200 – 500 kHz
- Meas. Time: 2 - 5 ms
- Min. DFQual: 50%
- Min. Stability: 1 dB
- DF Squelch: anpassen, so dass nur die PLC-Pulse durchkommen

Zusammen mit der Ortungsfunktion zeigt sich dann nach ca. 20 – 30s eine Zielrichtung. Wenn man dann den Standort langsam ändert (fährt) bildet sich ein Zielgebiet heraus. Voraussetzung ist allerdings, dass während der gesamten Peilfahrt das gesuchte PLC immer den höchsten Empfangspegel unter den anderen Störungen erzeugt.

5 Fazit

Die Bedienung über vordefinierte Tasks gestaltet sich auch für „Anfänger“, die über wenig Peilerfahrung verfügen, einfach.

Die manuelle Ortung mit dem Horizontal Scan zeigte im Test gute bis sehr gute Ergebnisse. Die Verrechnung von mehreren Peilungen an verschiedenen Positionen hilft bei der Lokalisierung des Hauses (oder sogar des Bereiches innerhalb größerer Gebäude), in dem das Störsignal ist, sehr. Auch bei der Nahermittlung von illegalen Aussendungen (z. B. Mobilfunk-Jammer), die möglichst unauffällig und schnell erfolgen muss, wäre der SignalShark mit Horizontal Scan eine deutliche Hilfe, da Peilungen auf Knopfdruck direkt abgespeichert und das Ortungsergebnis später sehr gut dokumentiert werden kann.

Außer der Ortung von Störquellen in unmittelbarer Umgebung wäre ein weiteres Einsatzszenario des Horizontal Scans die Ortung von sehr schwachen Störsignalen (z. B. Antennenverstärker im BOS- oder Flugfunkbereich). Hier fährt man in der Regel weiter auseinanderliegende günstige Messpunkte an (z. B. Hügel), um dann mit sehr rauscharmen Vorverstärkern und Richtantennen zu versuchen, das Signal aufzunehmen. Das ist gegenwärtig durch die manuelle Eingabe von „externen“ Peilungen möglich.

Leider zeigte sich die Firmware nicht immer stabil, wodurch manche Peilungen nicht oder falsche Peilungen gespeichert wurden.

Die automatische Peilfunktion ermöglicht gegenüber der bisher in den Peil-MKWs verwendeten Technik eine wesentlich leichtere Lokalisierung von Signalen, die über eine weitere Entfernung hin empfangbar sind. Die automatische Verrechnung aller Peilwerte einer Messfahrt ergibt recht zuverlässig ein Gebiet bzw. Standort des Senders.

Bei einer Beschaffung des Systems SignalShark/ADFA2 ergäben sich gegenüber der derzeit verfügbaren Technik folgende Vorteile:

- Durch die mobile Konzeption des Systems und die Tatsache, dass es batteriebetrieben werden kann, ist es möglich, in kurzer Zeit jeden MKW und sogar PKWs zu Peilfahrzeugen aufzurüsten.
- Durch die automatische Ortungsfunktion können stationäre Signalquellen erheblich leichter auch von unerfahrenem Personal ermittelt werden als bisher.
- Die höhere Empfindlichkeit des Narda-Peilsystems gegenüber dem DDF550 bei hohen Frequenzen erlaubt eine gesteigerte Reichweite bei der Peilung.

- Das System erlaubt auch die Peilung von Störsignalen im Kurzwellenbereich, was derzeit nur mit dem HF-Peiler auf den Dora-MKWs möglich ist.
- Die Kombination aus SignalShark, Handpeilantenne und ADFA2 ist so universell einsetzbar, dass sie für viele Einsätze als alleiniges Messmittel ausreicht.
- Die Verfügbarkeit eines 25m HF-/Steuerkabels ermöglicht es, die ADFA2 auf dem MKW-Mast in 10 m Höhe zu betreiben. Dies bietet bei Einsätzen auf Großveranstaltungen, wo der MKW meist zwischen Übertragungswagen „eingeklemmt“ ist, eine praktische Nutzbarkeit des Peilers, die derzeit nicht gegeben ist. Auch bei schwachen bzw. kurz auftretenden Störsignalen kann man so an vielen freien Standorten eine brauchbare Richtungsinformation bekommen.
- Die Kombination aus SignalShark mit Handpeilantenne ist besonders bei hohen Frequenzen wesentlich empfindlicher als die derzeit verwendete Kombination aus R&S PR100 und HE200 oder HE300. Zusammen mit der gleichzeitig höheren Übersteuerungsfestigkeit des SignalSharks ergeben sich dadurch entsprechende Vorteile bei der Lokalisierung schwacher Störsignale.

Wie schon vorab getestet hat der SignalShark sehr gute HF-Eigenschaften (Empfindlichkeit, Übersteuerungsfestigkeit, Dynamik), die besser sind als unsere derzeitigen tragbaren Geräte. Dennoch muss abschließend darauf hingewiesen werden, dass dem SignalShark derzeit noch essentielle Messfunktionen (z. B. Zeitbereichsmessungen, Trigger, I/Q Aufnahme und Wiedergabe) fehlen, um als Realtime-Analysator zu gelten und im PMD Geräte wie den Tektronix RSA zu ersetzen. Diese Funktionen sind lt. Informationen von Narda in der Entwicklung.

Eine detaillierte Liste der während des Tests aufgekommenen Wünsche und Kritikpunkte sowie der einzelnen Testergebnisse ist im Anhang beigefügt und wurde bei Abholung der Geräte mit Herrn Treichel von Telemeter besprochen.