

BNetzA Test report

“TDOA-System Decodio RED und TD**A**”

with Narda SignalShark

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 the software Decodio RED and TD**A**, and has 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.

Please note that the software may be subject to EU and US export control, as well as the extraterritorial export control laws of the country of manufacture. It is in the responsibility of the user to comply with all legal requirements. For more information, please contact the manufacturer directly.

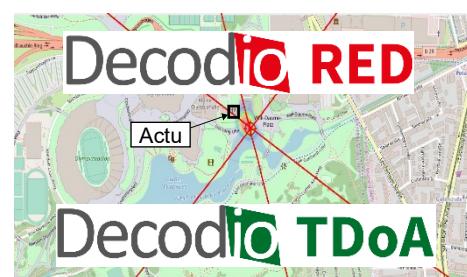
In the time between the test and our publication of the report, Narda has further developed the product. We have therefore used this opportunity to add some remarks in the Annex that reflect the current state of development of the product.

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.

SignalShark



&



Decodio

Test report

TDOA system Decodio RED and TDoA

BNetzA Munich Office
Betzenweg 32
81247 München

Thomas Hasenpusch, Augs 8-2

Version 1.0
Issue: 28.02.2020

Translation provided by Narda Safety Test Solutions GmbH

1 Introduction, background information

In February 2020, we had the opportunity to test a TDOA system from Decodio at our Munich office for 3 weeks. The TDOA network consisted of 3 fixed receiver locations (Munich office, FuMOS Grünwald, and Munich Freimann), each about 9 - 12 km from each other. We were able to operate the system using the laptop provided by Decodio, which was running the Decodio Localizer/TDoA evaluation software.

The software consists of two parts: one (Decodio Localizer/TDoA) is purely for localizing, whereas the other (Decodio RED) enables detailed analysis of transmission received by a selected sensor. The test described here concentrated mainly on the TDOA functionality, particularly with reference to its use in the supervision of events.

2 System description

2.1 Hardware

Each receiver location (sensor) was equipped with the following:

- › Antenna(s)
- › Test receiver (optionally with several switchable antenna inputs)
- › GPS receiver
- › LTE modem
- › Power supply (Power over Ethernet)

The receiver was housed in a weatherproof casing that could be attached to a mast. If required, the power supply unit and LTE modem as well as an industrial PC (for processing larger bandwidths) could be fitted in the same casing.



Figure 2-1: Sensor receiver in casing

The standard casing is, however, smaller than the one used for the test and only contains the receiver itself. If additional hardware is to be included in the casing, a larger casing than the one tested must be specified.

SignalShark instruments from Narda were used as sensor receivers. However, Decodio also supports a wide range of alternative receivers from various manufacturers, including R&S, Tektronix, and IZT.

The major specifications of the receiver are listed in the table below.

Parameter	Value
Receiver	Narda SignalShark
Frequency range	8 kHz – 8 GHz
IF bandwidth	2 MHz (up to 20 MHz)*
Noise figure, typical (30 - 3000 MHz)	-160 dBm/Hz
IP3 (200 - 2200 MHz)	+12 dBm
External connectors	10 - 48V DC (ext. power supply), 1 x measuring antenna (N), 3 x measuring antenna (SMA), GPS antenna (SMA), GBit LAN (RJ45)
Dimensions (weatherproof)	49 x 41 x 17 cm
Weight (weatherproof)	approx. 7 kg

Table 2-1: Sensor receiver specifications

*): The computer built in to the SignalShark was used in the test system to process the data. As this has limited performance (but is energy saving as a result), the capture bandwidth was limited to 2 MHz. If an external computer with the usual performance is used at the sensor locations, the full 20 MHz IQ streaming capability of the SignalShark can be used.

Such computers are also available nowadays in such a compact size that they would also fit into the weatherproof casing.

If the receiver cannot be directly connected to the test network by LAN, a router or cellular modem is additionally required.

The receiver also includes a computer which runs part of the receiver software under Windows 10. The basic configuration can be made either using a keyboard and monitor connected directly to the receiver module, or by means of a remote desktop connection.

The system tested consisted of three receivers as well as the central computer (laptop):

- › Mchn (Munich office with direct LAN connection to test network)
- › Grw (FuMOS location in Grünwald with LTE router)
- › Frm (private location in Munich Freimann with LTE router)

The R&S HK014 omnidirectional antenna 80 – 1300 MHz was used at the Mchn and Grw locations. A broadband discone antenna was used at the Frm location.

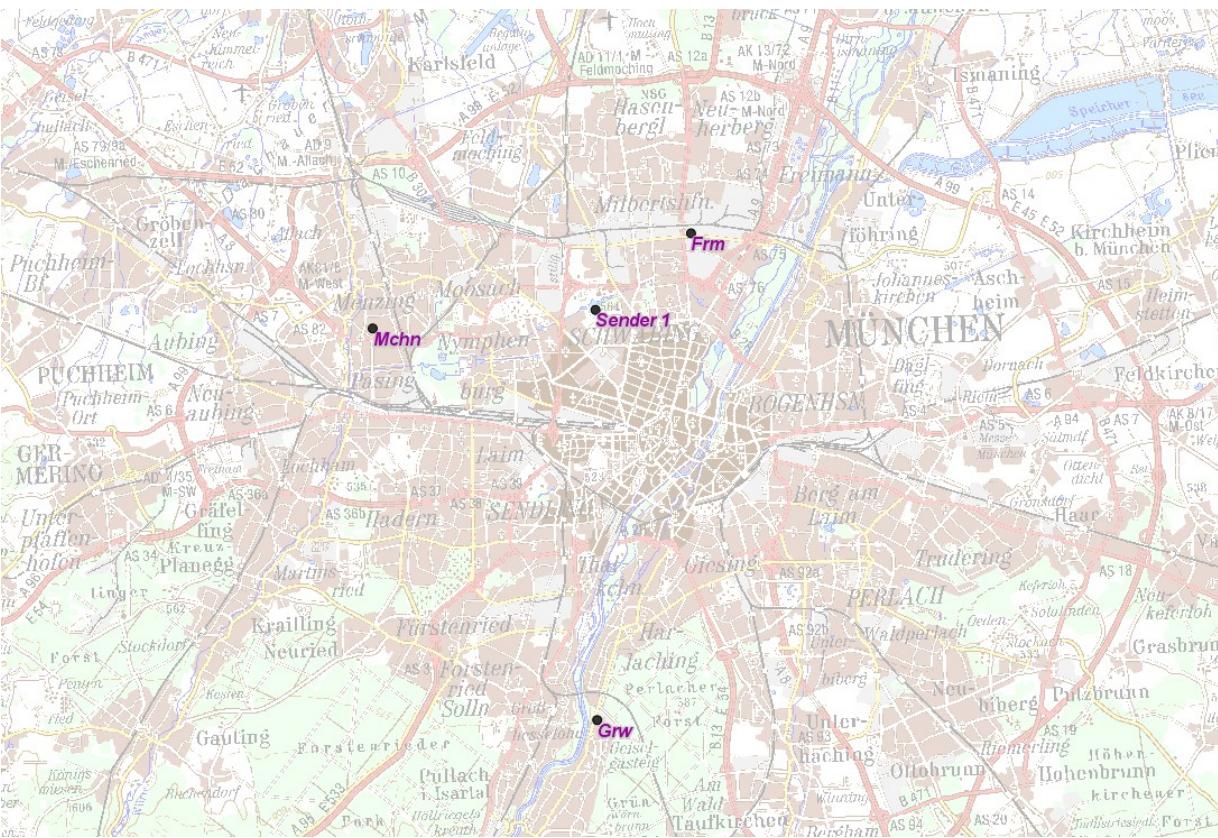


Figure 2-2: TDOA receivers and mobile test transmitter locations

2.2 Decodio Localizer TDoA software

The receivers can be operated individually using the Decodio RED software directly, or together using the Decodio Localizer/TDoA software.

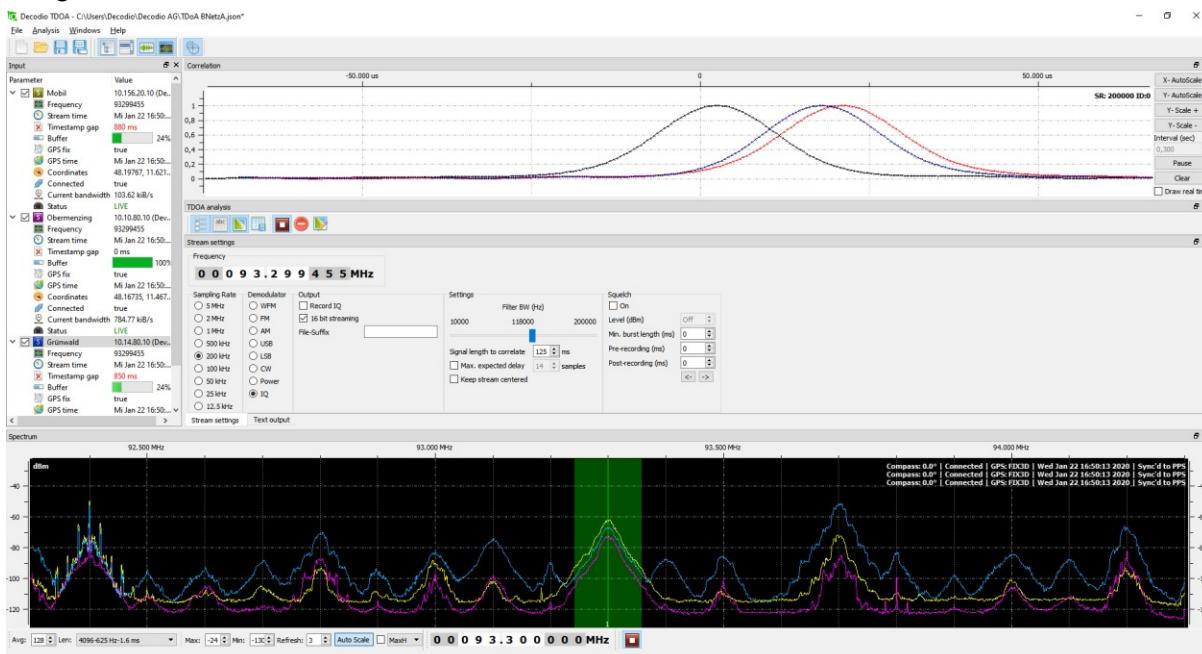


Figure 2-3: Decodio TDoA software main screen

The upper left window lists the installed sensors. Relevant information about each sensor is also displayed, such as the connection status, the current data quantity transmitted, the

IP address, etc. The sensors can also be directly configured or edited from this window (bandwidth, attenuation, antenna input).

The live spectrum of all the connected sensors is shown in the lower window, with each sensor in a different color. Settings such as the center frequency can be made here. The span or the frequency can be changed by dragging with the mouse or using the scroll wheel. It is also possible to set the frequency to be used for TDoA localization by double clicking on the spectrum (green shaded area in figure 2-3). This does not have to be the center frequency of the receiver; it can be anywhere within the capture range. The frequency resolution of the spectrum window (and with it the realizable RBW) is set by adjusting the FFT length in wide steps up to an FFT of 128k.

The direction finding (DF) bandwidth and the acquisition time for correlation are set in the center window.

The correlation result from the time difference between the arrival of the signal at the sensors (with cursors for time measurement) is shown graphically in the right upper window. This allows assessment of the correlation quality.

The localization result is shown as hyperbolas and as a heat map on the map.

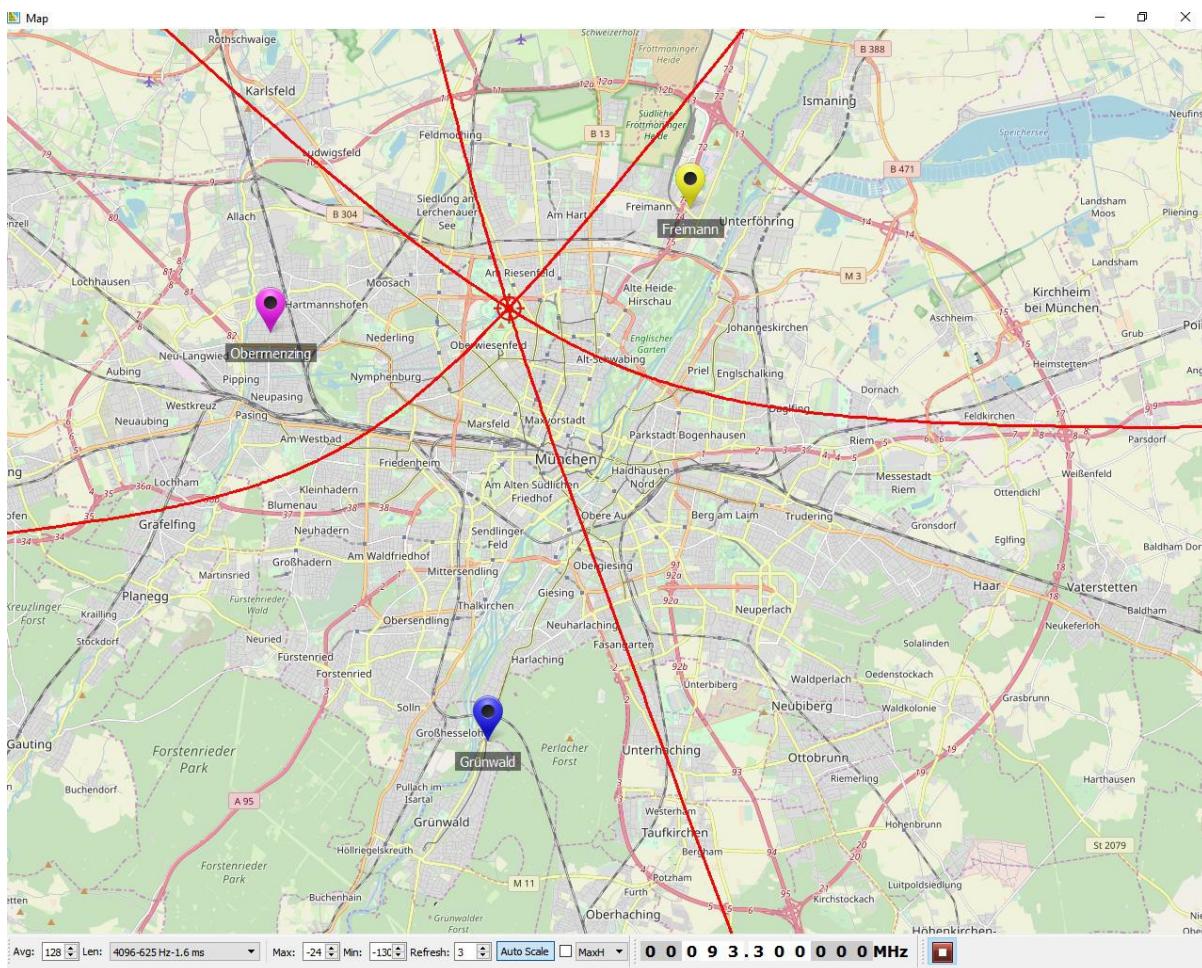


Figure 2-4: Map display of a TDoA localization

OpenStreetMap can be used for the maps, for example. If the central computer is connected to the Internet, the map sections are loaded automatically. However, each tile in the downloaded maps is also saved locally. This makes it possible to download the target area in advance when connected to the Internet, and to perform the actual measurement or localization later without an Internet connection.

Complete settings for the system can be saved and loaded directly from the user interface.

A squelch level can be incorporated into localization activity so that I/Q data are only transmitted when a

signal exceeds this level. It is also possible to set the time that the squelch level must be exceeded before localization starts. This prevents the squelch from being triggered by interference clicks.

All localization processes are saved automatically so that every single TDoA localization result can be displayed again later.

To speed up the system reactions, only the information actually required at the time is transmitted from the sensors to the central computer, thanks to intelligent flow control. This flow control is realized by estimating the transmission speed and then only transmitting parts of the IQ data, coordinated by the sensors.

2.3 Decodio RED software

The Decodio RED software connects one of the sensors to the user. It provides the following signal analysis functions as well as others:

- › Scan of current capture area and automatic detection of various standard signals of various standards, such as: TETRA, TETRAPOL, dPMR, DMR, POGSAC
- › Audio demodulation of all the above detected digital signals (except TETRAPOL)
- › Demodulation of analog signals (AM, FM, SSB) and measurements of symbol rates and autocorrelations
- › Recording of the HF spectrum and audio stream

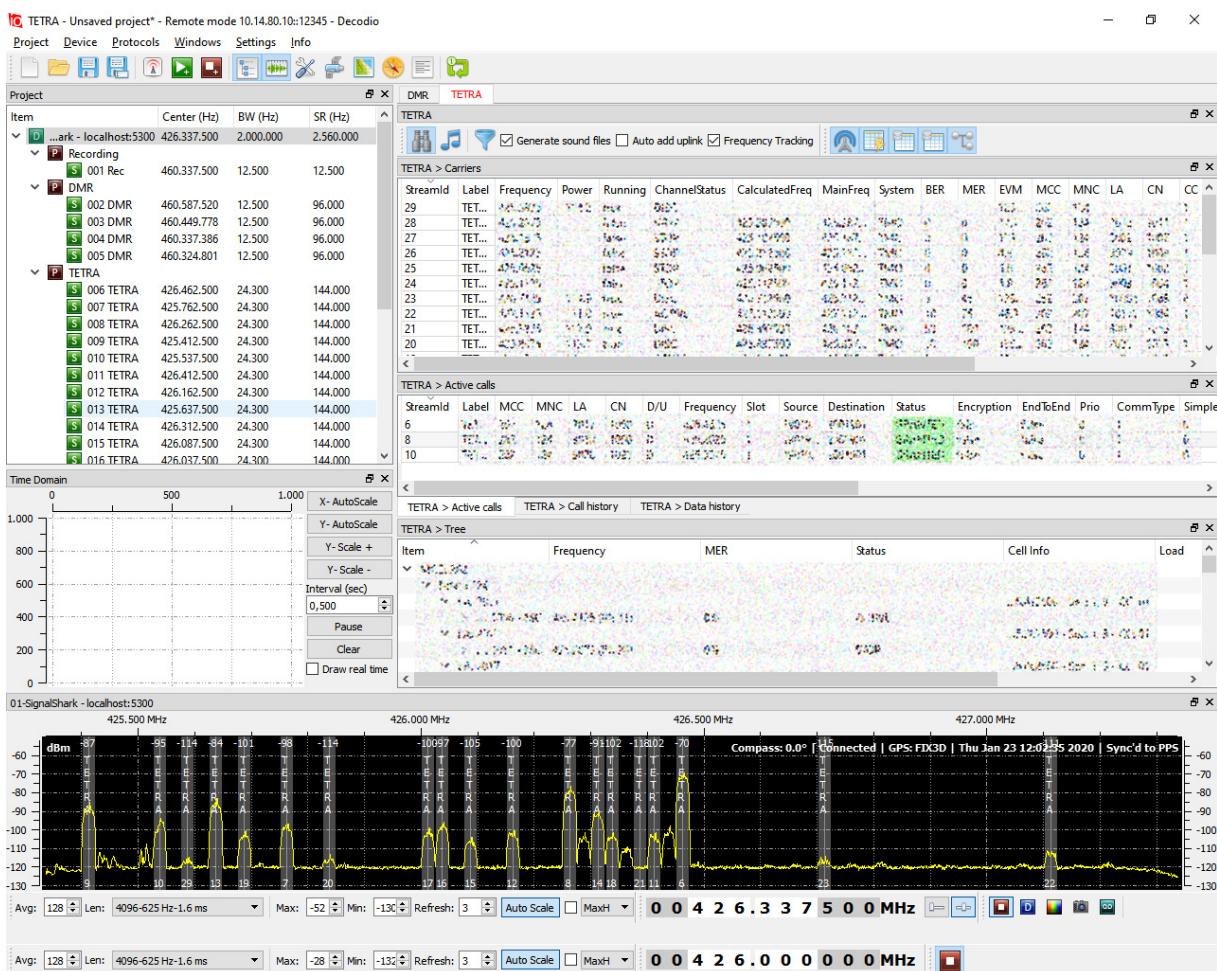


Figure 2-5: Decodio RED software main window with analysis of TETRA signals

The relevant information from all the signals, such as color code, network ID, cell ID, and actual status is displayed and continuously updated. Double click on one of the detected signals in the spectrum window to directly demodulate the selected channel, including the audio signal in unencrypted systems. This

allows eavesdropping on dPMR, DMR, TETRA, P25, D-STAR and NXDN.

3 Receiver properties test

In our office, we investigated the HF properties relevant to our application of the Narda SignalShark receiver by feeding in various signals from a test generator. The parameters of particular interest to us were:

- › Sensitivity
- › Large signal immunity

We could confirm the noise figure of 14 dB specified in the data sheet. This means that the receiver is much more sensitive (by about 10 dB) than all other receivers and analyzers without preamplifier that are currently used by PMD. Narda does also offer a preamplifier, but this is built in to the antennas that match the SignalShark, and so cannot be used with the remote controlled model.

The usable dynamic range, i.e., the maximum possible level difference between the input signal and the intrinsic noise level without saturation, was 65 dB, measured using a 10 MHz wide digital signal. That is significantly more than the Tektronix RSA6114, and is even 3 to 4 dB more than the R&S ESPI and ESBNR.

The receiver indicates overmodulation reliably and at exactly the right threshold. There is an HF attenuator that is switchable in 0.5 dB steps (!) up to 31.5 dB. Although it is highly unlikely that these are classic analog attenuators, the attenuation works reliably against overloading exactly as expected. The extremely fine adjustment of attenuation means that the receiver can be driven up to the maximum operating point in practically any situation to achieve the highest possible dynamic range even in the presence of strong signals.

4 TDoA tests with existing transmitters

We attempted to localize the transmitters of various systems with known locations. The main results are given in the table below.

The area delineated by the sensors is abbreviated to **ST** (for sensor triangle).

Signal / Modulation / DF bandwidth	Frequency range (approx.)	Results
ATC, fixed station outside the ST / AM / 12.5 kHz	130 MHz	Good indication of direction, but localization often near the edge of the ST.
ATC, on aircraft / AM / 12.5 kHz	130 MHz	Good fix with manual capture time of 2 s, even well outside the ST.
Private mobile radio, fixed station inside the ST / FM / 12.5 kHz	150 MHz	Good fix at S/N > 10 dB.
Private mobile radio, vehicles inside the ST / FM / 12.5 kHz	150 MHz	Only occasional localization result, even with levels more than 10 dB above noise. When a fix is shown, it is usually accurate.
E message, fixed stations / FSK / 12.5 kHz	466 MHz	Good fix for stations within the ST, even at weak levels; often not even the correct direction indicated at weak levels outside the ST (possibly synchronized networks).
Pulsed data system, fixed station outside the ST / FSK / 12.5 kHz	152 MHz	Quite good fix on the line of direction to the transmitter, jumps by +/- 5 km, but the hyperbolas cross at a very sharp point (pulse length < 200 ms).
TETRA Base station, inside the ST / QPSK / 25 kHz	426 MHz	Very good, stable fix even with extremely weak levels (signal hardly above the noise floor sometimes).
TETRA Base station, just outside the ST / QPSK / 25 kHz	426 MHz	Very good, stable fix even with extremely weak levels (signal hardly above the noise floor sometimes).
TETRA Base station, inside the ST / QPSK / 25 kHz	426 MHz	Very good, stable fix (but level is also very high).
TETRA Base station, well outside the ST / QPSK / 25 kHz	426 MHz	Often no result at all, but if a result is given, the localization is always usable.
UHF broadcast transmitter inside the ST / FM / 200 kHz	90 MHz	Very good, reliable fix, deviation from actual location < 50 m.
UHF broadcast transmitter outside the ST / FM / 200 kHz	103 MHz	Quite good fix with very good indication of direction. Localization jumps by about 500 m, but the crossing angle of the hyperbolas is very sharp.

Table 4-1: Test results with existing transmitters

The following image shows the map section for localization of a broadcast transmitter. The heatmap shows the area within which the localization result moved during a period of about a minute. This has an extent of only about 30 – 50 m.

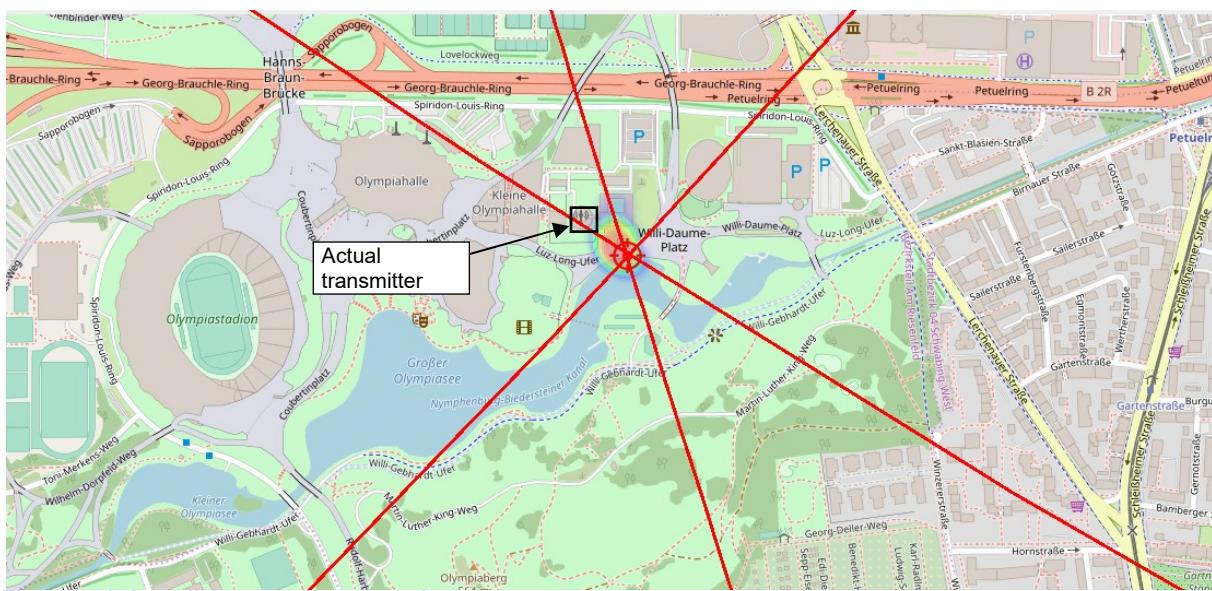


Figure 4-1: Localizing a radio transmitter

5 TDoA tests with our own transmitter

On 07.02.2020, we transmitted various signals from a test vehicle that was located within the sensor triangle. The maximum transmitted power (EIRP) was approximately 10 mW.

Signal / Modulation / DF bandwidth	Frequency range (approx.)	Results
TETRA handset, pulsed signal / QPSK / 25 kHz	144 MHz	Very good, stable fix, even with S/N below 10 dB. Deviation from actual transmitter location 50 - 100 m.
TETRA handset, pulsed signal / QPSK / 25 kHz	430 MHz	Quite good fix for S/N of about 3 dB and above.
GSM cellphone, pulsed signal (1 slot) / GMSK / 250 kHz	144 MHz	No fix, even though S/N was about 5 dB.
GSM cellphone, pulsed signal (1 slot) / GMSK / 12.5 kHz	144 MHz	Good fix with narrow DF bandwidth.
TETRA base station / QPSK / 25 kHz	78 MHz	Very good fix even with very low S/N.
DECT station, pulsed signal / GMSK / 1 MHz	1240 MHz	Signal too weak to be received by all three sensors. No fix.

Table 5-1: Test results with our own mobile transmitter

While the test vehicle traveled back from the Olympiaberg location to the office, we attempted to track it using the TDoA system. The signal transmitted was TETRA with an EIRP of about 10 mW. The signal was usually too weak to be received by all three sensors when moving between buildings in the city. Nevertheless, it was received by the Obermenzing and Grünwald sensors over wide stretches of the route. At least one hyperbola was displayed as the result. This always crossed the actual position of the vehicle very accurately.

6 TDoA test evaluations

The main results of the TDoA tests were as follows:

- › If the signal is too weak for direction finding, no result is displayed. This prevents misinterpretation of incorrect or estimated results.
- › The localization accuracy is relatively independent of the signal level. As soon as the system classifies a localization as valid and displays it, the result is very accurate and stable. The accuracy hardly increases when the signal level is increased.
- › The system localizes pulsed signals just as accurately as continuous signals. Surprisingly, the sensitivity in both cases is relatively equal.
- › Signals with narrow bandwidths are localized almost as well as those with large bandwidths. Narrow bandwidths only require a longer acquisition time, so the screen refresh rate will be lower.
- › Even narrow band AM signals such as air traffic control (ATC) can also be localized if they have a sufficiently high signal level.
- › The sensitivity when direction finding digital signals is extremely high. Localization is often still possible when the signal level is barely above the spectrum noise floor.

In comparison with the other TDoA systems tested so far, the system reacts very quickly, thanks to intelligent utilization of the available transmission bandwidths of the sensors, which do not transmit unnecessary data. As a rule, the initial localization was displayed after a delay of about 2 - 4 seconds. This was followed by at least one screen refresh every second with the settings selected for the test, which also made it possible to track moving transmitters and localize the participants in a multi-way conversation.

7 Summary

The system tested, comprising Narda SignalShark receivers in conjunction with the Decodio software, can certainly be judged positively. Compared with the previously tested systems from other manufacturers, the following positive characteristics can be particularly emphasized:

- › The SignalShark receivers have excellent HF properties. The sensitivity and large signal immunity are even better than most of the other instruments used by PMD.
- › The TDoA software (Decodio Localizer/TDoA) provides a wide range of functions, yet it is user friendly and operation is intuitive.
- › All the settings needed for localization are directly accessible. All the information needed during a localization is available on the main screen and on the map.
- › The system does not need to be connected to the public Internet to display maps. The map material for the event area can be either downloaded automatically with a fixed Internet connection, or copied on to the evaluation PC from a USB stick.
- › The high speed with which the system performs localization even allows interactive operation with two-way conversations where the transmit time for each station is just a few seconds.
- › The system can localize pulsed signals just as well as continuous signals and with approximately the same sensitivity.
- › The system also works satisfactorily for narrow band FM and AM signals.
- › The localization accuracy is good even with weak signals.

A TDoA system such as the one tested here would be very helpful for on-site test services, particularly for the proposed use in the management of large events.

Most of the interference at large events is caused by transmitters (not electronic devices). This is also true for signals from unauthorized transmitters, which often have to be located. As the event location is usually within a defined area and the transmissions being looked for nearly always emanate from within this area, the signals would practically always be received by all three sensors, making TDoA localization possible.

Using current equipment (AoA direction finders, directional antennas), the most that can be determined is the direction that the signal is coming from. To determine the location, a portable receiver must be used to track the field strength in the direction of the bearing, which is usually very time consuming in a tightly packed event location. The use of a TDoA system would immediately give information about the area where the transmitter being looked for is located.

In our opinion, it would be sensible to procure such a system. Compared with the other TDoA systems tested so far, the system from Decodio is the best by far.

A detailed list of remarks, errors and suggestions is contained in the Annex (separate Excel file).

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 2, section 2.1:

"The receiver was housed in a weatherproof casing that..."

Notes from the manufacturers, Narda:

A preliminary prototype of the SignalShark Outdoor Unit from Narda Safety Test Solutions was used for the test.

Narda will offer the "SignalShark 3330 Outdoor Unit" instrument range starting in mid 2020.

These instruments are characterized by their IP65 compliant weatherproof diecast aluminum casings, which also act as heatsinks. The compact design allows the receivers to be fitted right next to the antennas, keeping the antenna cables short and the resulting sensitivity high.

As well as an outstanding dynamic range, the instrument has three switchable antenna inputs, an integrated GNSS receiver, and the ability to use automatic Narda DF antennas for direction finding and localization.

The instrument is designed as an open platform. The Windows10 operating system allows the use of your own additional software on the instrument.

Despite its maximum power consumption of 40 W, an efficient Intel quad-core processor ensures the needed performance.

SignalShark 3330 versions

The different versions of the SignalShark 3330 cover a wide range of applications:

3330/101 SignalShark Outdoor Unit PoE Basic Set:

Data communication and power supply is via a Gigabit Ethernet connection (PoE++). Standard lightning protection components can be used to fit it to a building, as only an additional Ethernet cable is needed.

This version is particularly useful in connection with the expansion and modernization of existing infrastructure.

3330/102 SignalShark Outdoor Unit Modem R1 Basic Set

3330/103 SignalShark Outdoor Unit Modem R2 Basic Set

Data communication is via a cellular modem built in to the instrument that allows a direct VPN call set up.

Additional monitoring software on the instruments enables data collection and the ability to transmit them in compressed form when an event occurs.

A DC source of 10 to 30V such as a solar panel with battery can be used as power supply.

This version offers the most flexibility.

An ad hoc monitoring network for events can be set up very quickly.

A wide range of applications can be covered, from fitting to a lamppost through to autonomous installation at the "green line" without the need for additional infrastructure.



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.



ZY531/00161/19

Testbericht

TDOA-System Decodio RED und TDoA

BNetzA Standort München
Prangerlstr. 12
81247 München

Thomas Hasenpusch, Augs8-2

Version 1.1

Stand: 28.02.2020

1 Einleitung, Hintergrundinformationen

Im Februar 2020 hatten wir für 3 Wochen die Möglichkeit, ein TDOA-System von Decodio in der DSt München zu testen. Das TDOA-Netz bestand aus 3 festen Empfängerstandorten (Dienststelle München, FuMOS Grünwald und München Freimann), die jeweils ca. 9 - 12 km voneinander entfernt waren. Wir konnten das System über den von Decodio bereitgestellten Laptop bedienen, auf dem die Auswerte-Software Decodio Localizer/TDoA lief.

Die Software besteht aus zwei Teilen: Einer („Decodio Localizer/TDoA“) dient ausschließlich zur Ortung, während ein anderer („Decodio RED“) die detaillierte Analyse von Aussendungen ermöglicht, die an einem gewählten Sensor empfangen wird. Der vorliegende Test konzentrierte sich hauptsächlich auf die TDOA-Funktionalität, insbesondere im Hinblick auf einen Einsatz bei Veranstaltungsbetreuungen.

2 Systembeschreibung

2.1 Hardware

Jeder Empfangsstandort („Sensor“) war mit folgendem Equipment ausgestattet:

- Antenne(n)
- Messempfänger (optional mit mehreren schaltbaren Antenneneingängen)
- GPS-Empfänger
- LTE-Modem
- Stromversorgung (Power over Ethernet)

Der Empfänger war in einem wetterfesten Gehäuse untergebracht, das an einem Mast montiert werden kann. In demselben Gehäuse kann auch bei Bedarf das Netzteil und LTE-Modem sowie optional ein Industrie-PC (für die Verarbeitung größerer Bandbreiten) untergebracht werden.



Bild 2-1: Sensorempfänger im Gehäuse

Das Standard-Gehäuse ist jedoch kleiner als das zum Test verwendete Gehäuse und beherbergt nur den Empfänger selbst. Wenn zusätzliche Hardware im Gehäuse untergebracht werden soll, muss ein größeres Gehäuse wie das getestete Exemplar spezifiziert werden.

Als Sensorempfänger wurden SignalSharks der Firma Narda verwendet. Decodio unterstützt aber auch eine ganze Reihe alternativer Empfänger verschiedener Hersteller, u. A. R&S, Tektronix und IZT.

Die folgende Tabelle enthält die wesentlichen Technischen Daten des Sensors.

Parameter	Wert
Empfänger	Narda SignalShark
Frequenzbereich	8 kHz – 8 GHz
ZF-Bandbreite	2 MHz (bis zu 20 MHz)*
Rauschmaß, typisch (30-3000MHz)	-160 dBm/Hz
IP3 (200-2200 MHz)	+12 dBm
Externe Anschlüsse	10-48V DC (ext. Netzteil), 1 x Messantenne (N), 3 x Messantenne (SMA) GPS-Antenne (SMA), GBit LAN (RJ45)
Abmessungen (wetterfest)	49 x 41 x 17 cm
Gewicht (wetterfest)	Ca. 7 kg

Tabelle 2-1: Technische Daten des Sensor-Empfängers

*): Im Testsystem wurde der im SignalShark befindliche Rechner zur Aufbereitung der Daten verwendet. Da dieser nur eine geringe Leistungsfähigkeit (aber dafür energiesparend ist) hat, wurde die Erfassungsbandbreite auf 2 MHz begrenzt. Wenn ein externer Rechner mit handelsüblicher Leistung am Ort der Sensoren verwendet wird, ist die volle IQ-Streaming-Bandbreite des SignalSharks von 20 MHz nutzbar. Derartige Rechner sind heute auch in so kleinen Bauformen verfügbar, dass sie mit in das witterfeste Gehäuse des Sensors passen.

Wenn der Empfänger nicht direkt über LAN an das Messnetz angebunden werden kann, wird zusätzlich noch ein Router bzw. Mobilfunk-Modem benötigt.

Der Empfänger beinhaltet auch einen Rechner, auf dem unter Windows 10 ein Teil der Empfänger-Software läuft. Die Basiskonfiguration ist entweder durch Anschluss von Tastatur und Monitor direkt am Empfängerbaustein, oder durch Remote Desktop-Verbindung über das Netz möglich.

Das getestete System bestand außer dem Zentralrechner (Laptop) aus drei Empfängern:

- DSt (Dienststelle München mit direkter LAN-Anbindung in das Messnetz)
- Grw (FuMOS-Standort Grünwald mit LTE-Router)
- Frm (Privater Standort in München Freimann mit LTE-Router)

An allen den Standorten DSt und Grw wurde die R&S HK014 Rundempfangsantenne 80 – 1300 MHz, am Standort Frm eine Breitband-Discone verwendet.

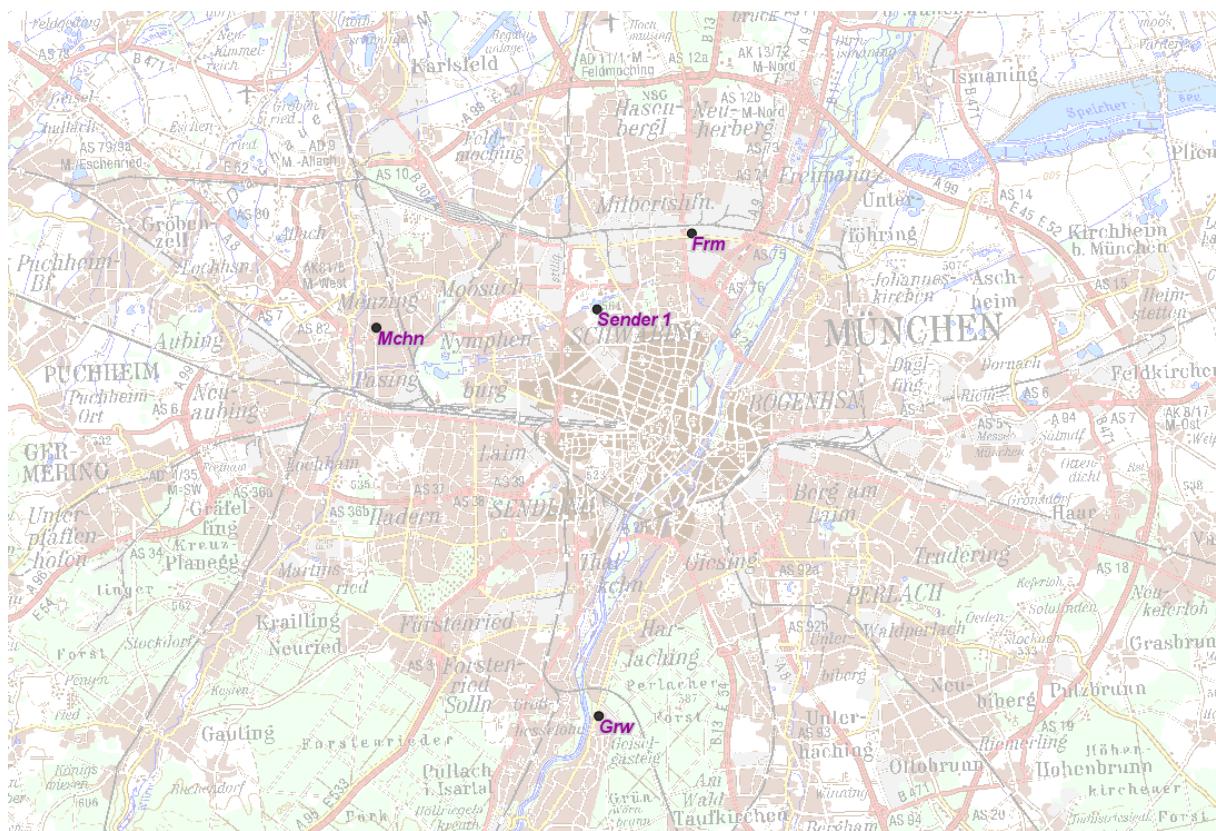


Bild 2-2: Standorte der TDOA-Empfänger und des mobilen Testsenders

2.2 Decodio Localizer TDoA-Software

Die Bedienung der einzelnen Empfänger kann direkt über die Software „Decodio RED“ erfolgen, oder gemeinsam über die Software „Decodio Localizer/TDoA“.

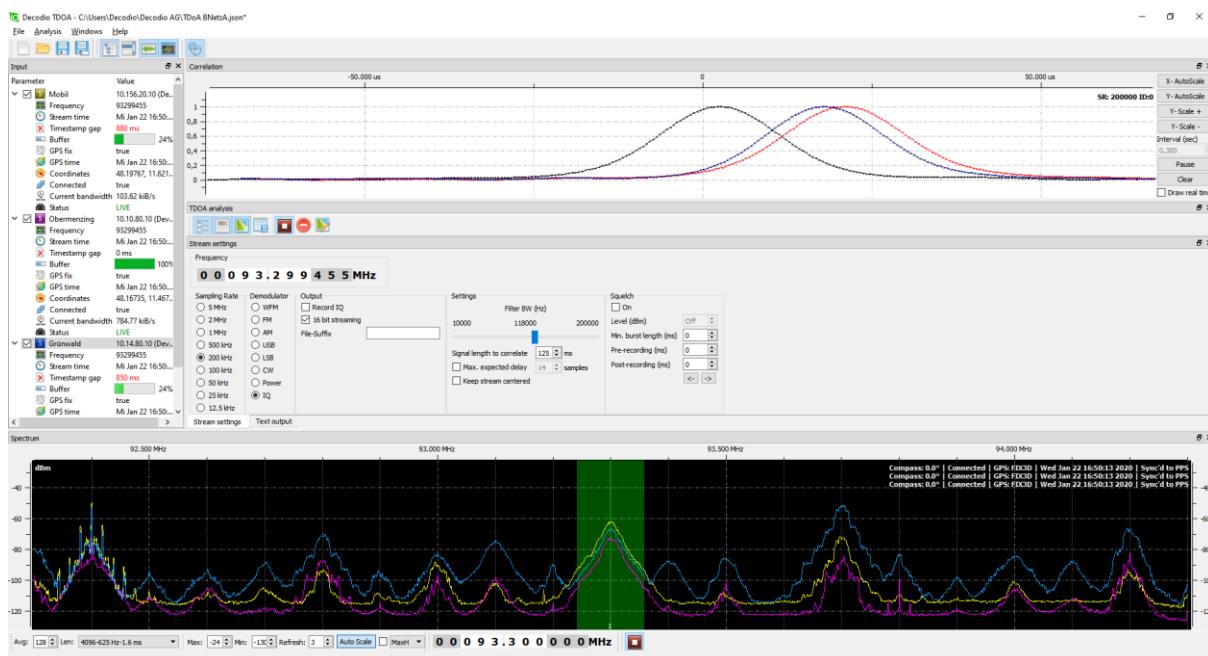


Bild 2-3: Hauptbildschirm der Software Decodio TDoA

Im linken oberen Fenster sind die installierten Sensoren zeilenweise aufgeführt. Zu jedem Sensor werden relevante Informationen angezeigt, z. B. der Verbindungsstatus, die gerade

übertragene Datenmenge, IP-Adresse u.s.w. Über dieses Fenster können die Sensoren auch direkt konfiguriert (Bandbreite, Attenuation, Antenneneingang) bzw. bearbeitet werden.

Im rechten unteren Fenster ist das live-Spektrum aller verbundenen Sensoren dargestellt, und zwar in der Farbe des jeweiligen Sensors. Hier sind Einstellungen z. B. der (Mitten-)frequenz möglich. Verändern des Spans oder der Frequenz sind durch Ziehen mit der Maus möglich oder dessen Scrollrad möglich. Außerdem kann man durch einen Doppelklick in das Spektrum die gewünschte Frequenz festlegen, auf der eine TDoA-Ortung erfolgen soll (grüner Bereich in Bild 2-3). Diese muss nicht die Mittenfrequenz des Empfängers sein, sondern kann irgendwo im Erfassungsbereich liegen. Die Frequenzauflösung des Spektrumsfensters (und damit die realisierte RBW) ist durch Setzen der FFT-Länge in weiten Schritten bis zu einer 128k FFT einstellbar.

Die Peilbandbreite und Akquisitionszeit für die Korrelation wird im mittleren Fenster eingestellt.

Im rechten oberen Fenster wird das Korrelationsergebnis (mit Cursoren zur Zeitmessung) grafisch durch den zeitlichen Versatz der von den Sensoren eintreffenden Signale dargestellt. Dies ermöglicht eine Beurteilung der Korrelationsqualität.

Das Ortungsergebnis wird als Hyperbeln und auch als Heatmap auf einer Karte dargestellt.

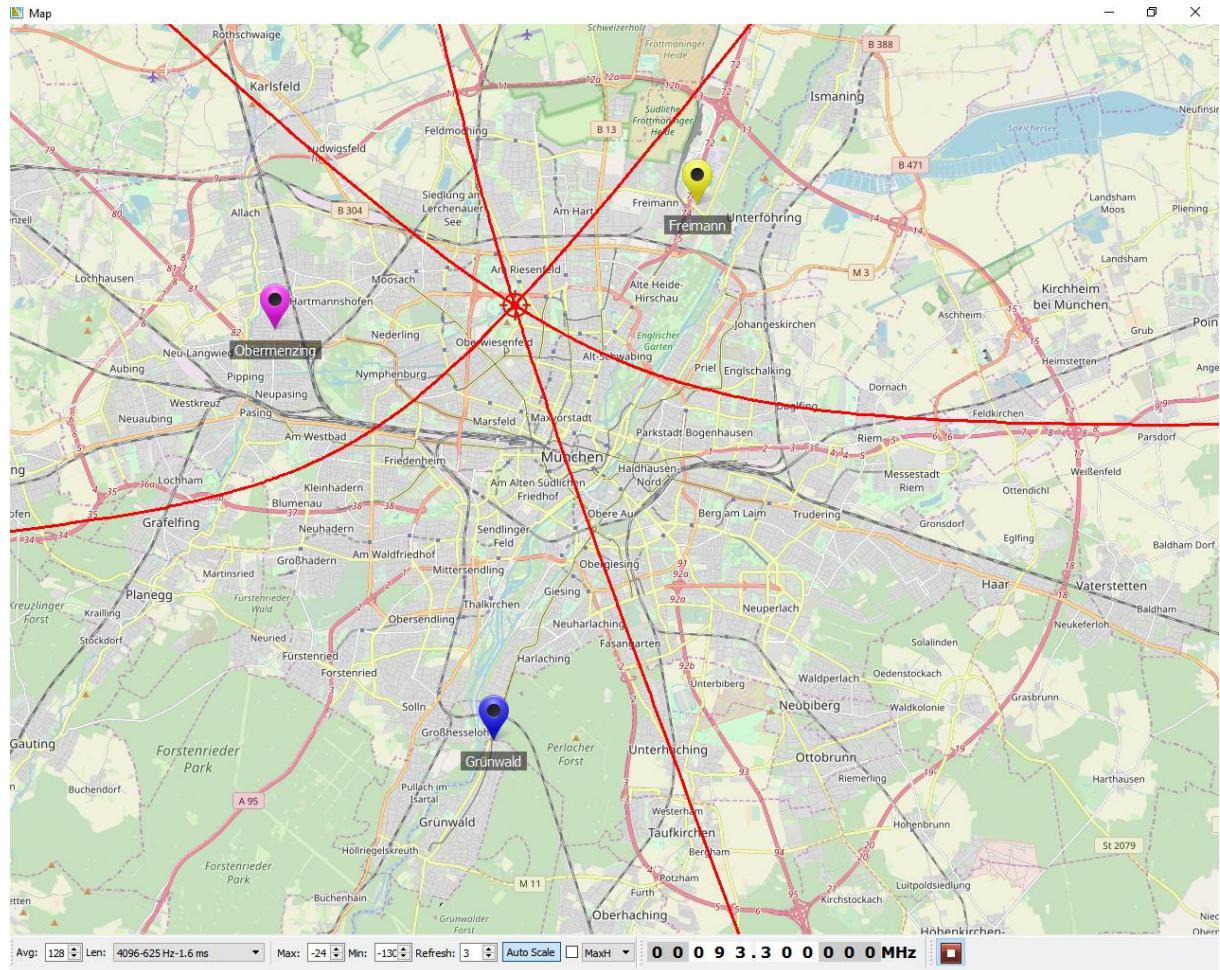


Bild 2-4: Kartendarstellung einer TDoA-Ortung

Als Kartenmaterial kann z. B. OpenStreetMap verwendet werden. Wenn der Zentralrechner eine Internetverbindung hat, werden die Kartenausschnitte automatisch geladen. Jede Kachel der geladenen Karten wird aber auch lokal gespeichert. Dadurch ist es möglich, ein Zielgebiet vorab bei bestehender Internetverbindung zu laden und die eigentliche Messung bzw. Ortung dann später ohne Internetverbindung durchzuführen.

Komplette Einstellungen des Systems können abgespeichert und direkt aus der Oberfläche heraus geladen werden.

Die Ortungsaktivität kann mit einem Squelch-Pegel versehen werden, so dass nur dann I/Q-Daten übertragen werden, wenn ein Signal diesen Pegel überschreitet. Dabei kann sogar eingestellt werden, wie lange der Squelch-Pegel überschritten sein muss, damit die Ortung beginnt. Dadurch wird vermieden, dass Knackstörungen den Squelch auslösen.

Alle Ortungsvorgänge werden automatisch gespeichert, so dass nachträglich jedes einzelne TDoA-Ortungsergebnis wieder angezeigt werden kann.

Zur Beschleunigung von Systemreaktionen werden dank einer intelligenten Flow-Control immer nur die gerade benötigten Informationen von den Sensoren zum Zentralrechner übertragen. Die Flow-Control wird realisiert, indem die Übertragungsgeschwindigkeit geschätzt und dann von den Sensoren koordiniert nur Teile der IQ-Daten übertragen werden.

2.3 Software Decodio RED

Die Software Decodio RED verbindet einen der Sensoren mit dem Benutzer. Sie bietet unter anderem folgende Möglichkeiten zur Signalanalyse:

- Scannen des aktuellen Erfassungsbereiches und automatisches Erkennen von Signalen verschiedener Standards, u. A. TETRA, Tetrapol, dPMR, DMR, POGSAC
- Demodulation des Audios aller oben erkannten digitalen Signale (außer TETRAPOL)
- Demodulation analoger Signale (AM, FM, SSB) und Durchführen von Messungen von Symbolraten und Autokorrelationen
- Aufnahme des HF-Spektrums und Audio-Streams

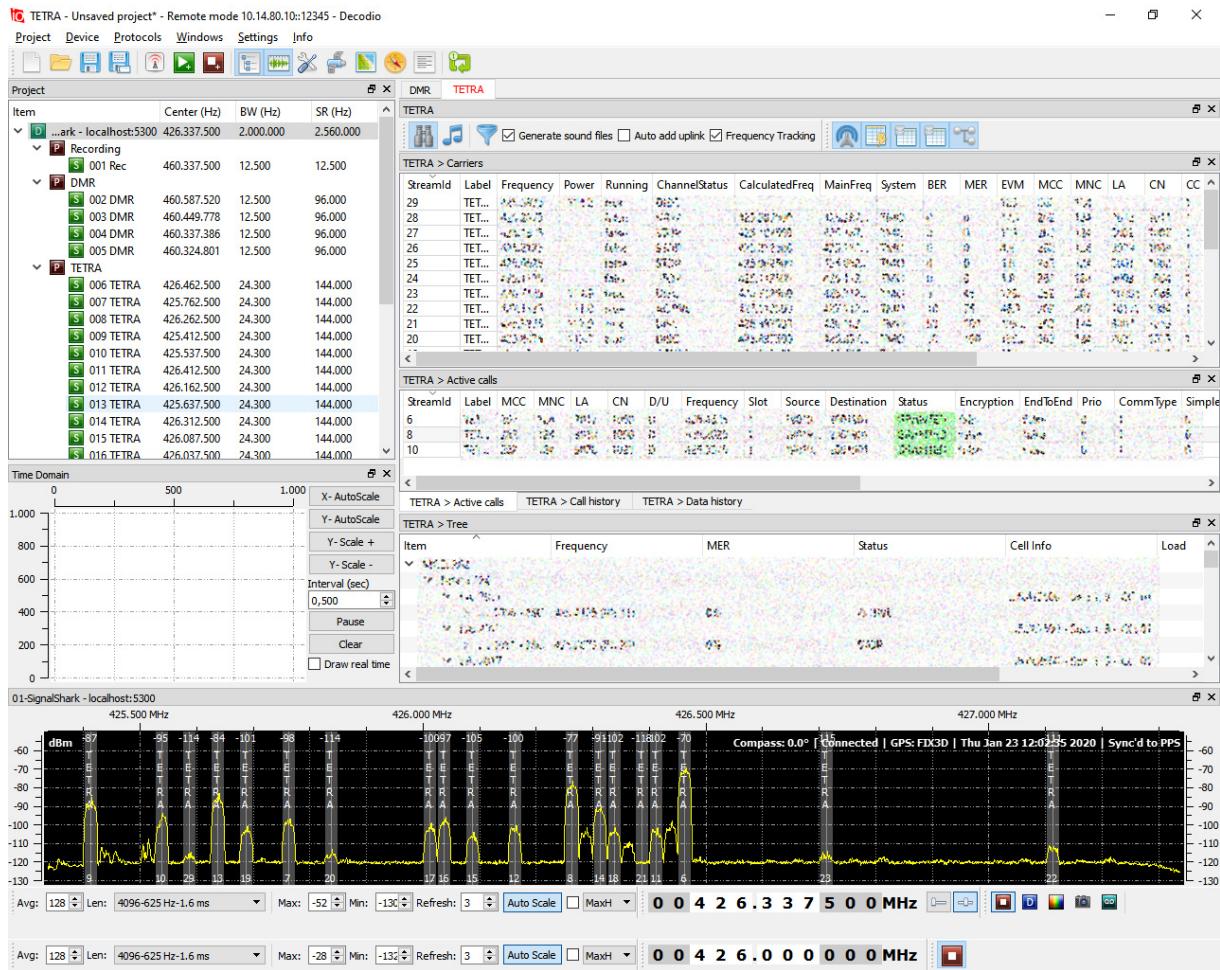


Bild 2-5: Hauptfenster der Decodio RED Software mit Analyse von TETRA-Signalen

Von allen erkannten Signalen werden die relevanten Informationen wie Color Code, Network ID, Cell-ID und momentaner Status angezeigt und laufend aktualisiert. Durch Doppelklick auf eines der erkannten Signale im Spektrumsfenster kann der gewählte Kanal direkt demoduliert werden, bei unverschlüsselten Systemen auch das Audiosignal. Dadurch hat man die Möglichkeit, in dPMR, DMR, TETRA, P25, D-STAR und NXDN hineinzuhören.

3 Test der Empfängereigenschaften

Die für uns relevanten HF-Eigenschaften des verwendeten Empfängertyps Narda Signalhark wurden in der DSt durch Beaufschlagung mit verschiedenen Signalen aus dem Messsender untersucht. Diese sind insbesondere:

- Empfindlichkeit
- Großsignalfestigkeit

Das im Datenblatt angegebene Rauschmaß des Empfängers von 14 dB konnte bestätigt werden. Damit ist der Empfänger wesentlich (ca. 10 dB) empfindlicher als alle anderen Empfänger und Analysatoren ohne Vorverstärker, die im PMD derzeit im Einsatz sind. Narda bietet darüber hinaus zwar auch noch einen Vorverstärker an, der aber nur in den zum Signalshark gehörenden Antennen verbaut ist und damit im fernbedienten Modell nicht genutzt werden kann.

Die nutzbare Dynamik, also der maximal ohne Übersteuerung mögliche Pegelabstand zwischen Nutzsignal und Eigenrauschen, wurde bei einem 10 MHz breiten Digitalsignal mit 65 dB gemessen. Das ist wesentlich mehr als beim Tektronix RSA6114, und sogar 2-3 dB mehr als beim R&S ESPI und ESBNR.

Übersteuerungen zeigt der Empfänger zuverlässig und genau an der richtigen Schwelle an. Es gibt eine in 0,5 dB (!) schaltbare HF-Dämpfung bis 31,5 dB. Obwohl kaum anzunehmen ist, dass es sich hier um klassische analoge Dämpfungsglieder handelt, wirkt die Dämpfung zuverlässig gegen Übersteuerung in genau dem erwarteten Maß. Durch die extrem feine Abstufung der Dämpfung kann der Empfänger in nahezu allen Situationen bis an den maximalen Arbeitspunkt herangefahren werden, um eine möglichst hohe Dynamik auch in Gegenwart von starken Signalen zu erhalten.

4 TDoA-Tests mit existierenden Sendern

Wir haben an Sendern verschiedener Systeme mit bekannten Standorten Ortungsversuche durchgeführt. Die folgende Tabelle enthält die dabei gewonnenen wesentlichen Ergebnisse.

Die durch die Sensoren aufgespannte Fläche ist mit **SD** (für Sensorendreieck) abgekürzt.

Signal / Mod. / Peil-bandbr.	Frequenzbereich (ca.)	Ergebnisse
Flugfunk, Feststation außerhalb des SD / AM / 12,5 kHz	130 MHz	Gute Angabe der Richtung, aber manchmal Verortung Nahe des SD-Randes
Flugfunk, Flugzeuge / AM / 12,5 kHz	130 MHz	Bei Erfassungszeit manuell von 2 s guter Fix, auch weiter außerhalb des SD
Betriebsfunk, Feststation innerhalb des SD / FM / 12,5 kHz	150 MHz	Guter Fix bei S/N > 10 dB
Betriebsfunk, Fahrzeuge innerhalb des SD / FM / 12,5 kHz	150 MHz	Nur gelegentlich Ortungsergebnis, auch bei Pegeln, die mehr als 10 dB über Rauschen sind, aber wenn ein Fix angezeigt wird ist er meistens genau.
E-Message, Feststationen / FSK / 12,5 kHz	466 MHz	Bei Stationen innerhalb des SD guter Fix, auch bei schwachen Pegeln, außerhalb des SD und schwachen Pegeln oft nicht einmal korrekte Richtungsangabe (möglicherweise Gleichwellennetze)
Gepulstes Datensystem, Feststation außerhalb des SD / FSK / 12,5 kHz	152 MHz	Recht guter Fix auf der Richtungslinie zum Sender, springt um +/- 5 km, aber Hyperbeln schneiden sich sehr spitz (Pulslänge < 200 ms)
TETRA Basisstation, innerhalb des SD / QPSK / 25 kHz	426 MHz	Sehr guter und stabiler Fix auch bei extrem schwachen Pegeln (Signal kommt teilweise kaum aus dem Rauschen heraus)
TETRA Basisstation, leicht außerhalb des SD / QPSK / 25 kHz	426 MHz	Sehr guter und stabiler Fix auch bei extrem schwachen Pegeln (Signal kommt teilweise kaum aus dem Rauschen heraus)
TETRA Basisstation, innerhalb des SD / QPSK / 25 kHz	426 MHz	Sehr guter und stabiler Fix (Pegel aber auch recht hoch)
TETRA Basisstation, weit außerhalb des SD / QPSK / 25 kHz	426 MHz	Oft gar kein Ergebnis, aber wenn eines angezeigt wird ist die Ortsbestimmung immer brauchbar.
UKW-Rundfunksender innerhalb des SD / FM / 200 kHz	90 MHz	Sehr guter und zuverlässiger Fix, Abweichung vom tatsächlichen Standort < 50 m.
UKW-Rundfunksender außerhalb des SD / FM / 200 kHz	103 MHz	Recht guter Fix bei sehr guter Richtungsangabe. Ortung springt um ca. 500 m, aber Schnittwinkel der Hyperbeln ist sehr spitz.

Tabelle 4-1: Testergebnisse mit existierenden Sendern

Das Folgende Bild zeigt den Kartenausschnitt bei der Ortung eines Rundfunksenders. Die Heatmap zeigt den Bereich, in dem das Ortungsergebnis während ca. einer Minute gesprungen ist. Dessen Ausdehnung beträgt nur etwa 30 – 50 m.

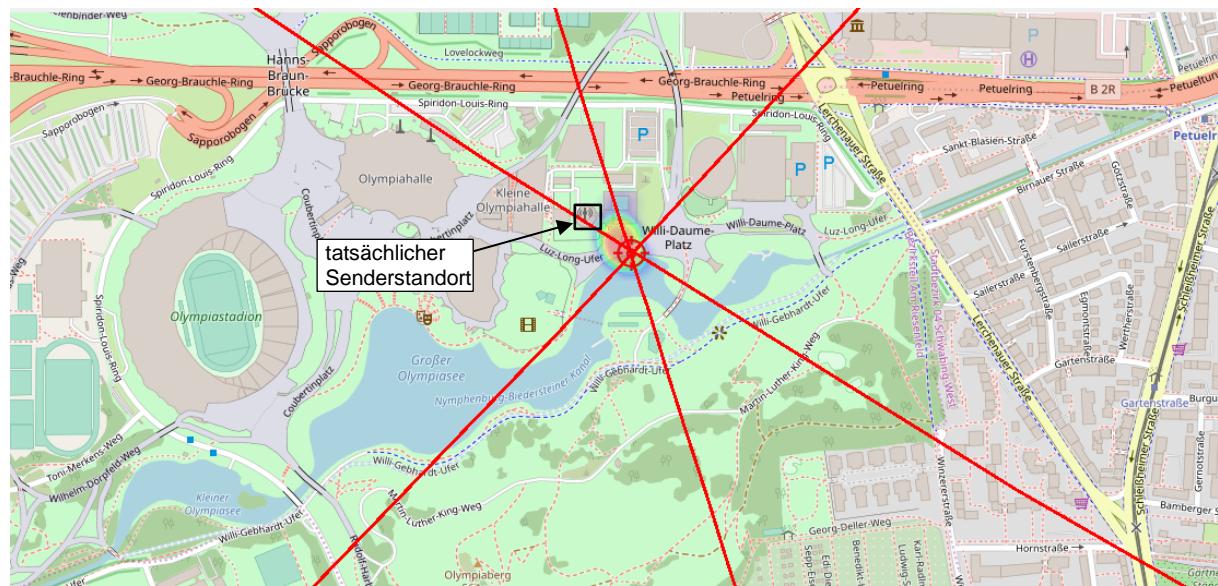


Bild 4-1: Ortung eines Rundfunksenders

5 TDoA-Tests mit eigenem Sender

Am 07.02.2020 haben wir verschiedene Signale von einem Messwagen gesendet, der sich innerhalb des Sensorendreiecks befand. Die maximale Sendeleistung (EIRP) betrug ca. 10 mW.

Signal / Mod. / Peilbandbr.	Frequenzbereich (ca.)	Ergebnisse
TETRA Handgerät, gepulstes Signal / QPSK / 25 kHz	144 MHz	Sehr guter und stabiler Fix, auch wenn das S/N unter 10 dB lag. Abweichung vom tatsächlichen Senderstandort 50 - 100 m
TETRA Handgerät, gepulstes Signal / QPSK / 25 kHz	430 MHz	Ab einem S/N von ca. 3 dB recht guter Fix.
GSM Handy, gepulstes Signal (1 Slot) / GMSK / 250 kHz	144 MHz	Kein Fix, obwohl das S/N ca. 5 dB betrug.
GSM Handy, gepulstes Signal (1 Slot) / GMSK / 12,5 kHz	144 MHz	Mit schmaler Peilbandbreite guter Fix
TETRA Basisstation / QPSK / 25 kHz	78 MHz	Sehr guter Fix auch bei sehr schwachem S/N
DECT-Station, gepulstes Signal / GMSK / 1 MHz	1240 MHz	Signal zu schwach, um an allen drei Sensoren empfangen zu werden. Kein Fix.

Tabelle 5-1: Testergebnisse mit eigenem mobilen Sender

Während der Messwagen vom Standort Olympiaberg in die Dienststelle zurückfuhr, haben wir versucht, ihn mit dem TDoA-System zu verfolgen. Ausgesendet wurde ein TETRA-Signal mit ca. 10 mW EIRP. Das Signal war bei Fahrt zwischen den Häusern der Stadt meist zu schwach, um an allen drei Sensoren empfangen zu werden. Allerdings wurde es über weite

Strecken von den Sensoren Obermenzing und Grünwald empfangen. Als Ergebnis wurde dann zumindest eine Hyperbel angezeigt. Diese schnitt den aktuellen Standort des Messwagens aber immer mit sehr hoher Genauigkeit.

6 Bewertung der TDoA-Tests

Die wesentlichen Ergebnisse der TDoA-Tests waren wie folgt:

- Wenn das Signal zu schwach für eine Peilung ist, wird kein Ergebnis angezeigt. Das verhindert Missdeutungen von falschen oder „geratenen“ Ergebnissen
- Die Genauigkeit der Ortung ist relativ unabhängig vom Signalpegel. Sobald das System eine Ortung als gültig einstuft und anzeigt, ist sie sehr genau und stabil. Diese Genauigkeit erhöht sich durch Steigerung des Signalpegels kaum.
- Das System ortet gepulste Signale genauso gut wie Dauersignale. Die Empfindlichkeit ist in beiden Fällen überraschenderweise relativ gleich.
- Signale mit schmaler Bandbreite werden fast genauso gut geortet wie mit großer Bandbreite. Es muss bei schmaler Peilbandbreite nur länger akquiriert werden, so dass die Updaterate am Bildschirm geringer wird.
- Es können auch schmalbandige AM-Signale wie Flugfunk geortet werden, wenn sie einen ausreichend hohen Signalpegel haben.
- Die Empfindlichkeit bei der Peilung digitaler Signale ist extrem hoch. Eine Ortung ist oft schon möglich, wenn sich das Signal im Spektrum praktisch nicht vom Rauschen abhebt.

Durch die intelligente Nutzung der verfügbaren Übertragungsbandbreite von den Sensoren, die keine unnötigen Daten überträgt, reagiert das System im Vergleich zu den bisher getesteten TDoA-Systemen sehr schnell. Eine erste Ortung wird in der Regel mit einer Verzögerung von ca. 2-4 Sekunden angezeigt. Danach erfolgte bei den gewählten Einstellungen der Tests mindestens ein Bildschirm-Update pro Sekunde, was auch die Verfolgung von beweglichen Sendern sowie die Ortung von Gesprächsrunden mit mehreren Teilnehmern möglich macht.

7 Fazit

Das getestete System aus Narda SignalShark- Empfängern in Verbindung mit der Decodio-Software ist durchweg positiv zu bewerten. Im Vergleich mit den bisher getesteten Systemen anderer Hersteller sind folgende positive Eigenschaften besonders hervorzuheben:

- Die SignalShark-Empfänger haben hervorragende HF-Eigenschaften. Empfindlichkeit und Großsignalfestigkeit sind sogar besser als bei den meisten anderen Geräten im Einsatz beim PMD.
- Die TDoA-Software (Decodio Localizer/TDoA) bietet einen großen Funktionsumfang und ist dabei sehr benutzerfreundlich sowie intuitiv bedienbar.
- Alle zur Ortung notwendigen Einstellungen sind direkt zugänglich. Alle während einer Ortung erforderlichen Informationen sind auf dem Hauptbildschirm und der Karte verfügbar.
- Das System benötigt zur Kartendarstellung keine Verbindung ins freie Internet. Das Kartenmaterial für das Veranstaltungsgelände kann vor dem Einsatz entweder bei bestehender Internetverbindung automatisch geladen und gespeichert, oder per USB-Stick auf den Auswerte-PC kopiert werden.
- Die hohe Geschwindigkeit, mit der das System Ortungen durchführt, erlaubt sogar den interaktiven Betrieb bei Wechselgesprächen mit nur wenigen Sekunden Sendezeit pro Station.
- Das System kann gepulste Signale genauso gut und mit etwa der gleichen Empfindlichkeit orten wie Dauersignale.
- Das System funktioniert auch bei schmalbandigen FM- und AM-Signalen zufriedstellend.
- Die Ortungsgenauigkeit ist sogar bei schwachen Signalpegeln gut.

Insbesondere für den gedachten Einsatz bei der Betreuung von Großveranstaltungen wäre ein TDoA-System wie das hier getestete eine große Hilfe für den Messdienst vor Ort.

Bei Großveranstaltungen werden die meisten Störungen von Sendern (und nicht von elektronischen Geräten) verursacht. Dasselbe gilt für Aussendungen nicht zugeteilter Sender, die oft gesucht werden müssen. Da das Veranstaltungsgelände meist räumlich begrenzt ist und die gesuchten Aussendungen fast immer vom Gelände selbst kommen, wären deren Signale praktisch immer an allen Sensoren zu empfangen, was eine TDoA-Ortung möglich macht.

Mit derzeitigen Mitteln (AoA-Peiler, Richtantennen) bekommt man maximal die Richtung heraus, aus der ein Signal kommt. Um den Standort herauszufinden, muss man mit dem portablen Empfänger in der Peilrichtung nach Feldstärke gehen, was jedoch bei den dicht besetzten Veranstaltungsorten meist sehr zeitaufwändig ist. Mit einem TDoA-System hätte man gleich eine Information, in welchem Gebiet sich der gesuchte Sender befindet.

Unserer Ansicht nach wäre die Beschaffung eines Systems sinnvoll. Im Vergleich mit den bisher getesteten TDoA-Systemen ist das System von Decodio mit Abstand das Beste.

Eine detaillierte Liste der Anmerkungen, Fehler und Vorschläge befindet sich im Anhang (getrennte Excel-Datei).

Thomas Hasenpusch