

R&S®PR100

Lokalisieren einer Signalquelle

Applikationsbroschüre



Inhalt

Die Applikationsbroschüre beschreibt das Vorgehen beim Lokalisieren einer Signalquelle für ein System bestehend aus einem R&S®PR100 tragbaren Empfänger und einer R&S®HE300 aktiven Richtantenne.

Unabhängig von der Konfiguration ist der tragbare Empfänger ideal, um fast alle Signalquellen zu erfassen. Sein modulares Konzept ermöglicht die Anpassung an individuelle Kundenanforderungen, um auch schwache Signale in anspruchsvollen Szenarien zu finden.

Produkte von Rohde & Schwarz

- R&S®PR100 tragbarer Empfänger
- R&S®HE300 aktive Richtantenne
- R&S®PR100-DF Peiler-Upgrade-Kit
- R&S®ADD107 kompakte VHF/UHF-Peilantenne
- R&S®ADD207 kompakte UHF/SHF-Peilantenne

Einführung	3
Technische Grundlagen	4
Prinzip	4
Manuelles Peilverfahren (mittels R&S®HE300 aktiver Richtantenne).....	4
Automatisches Peilverfahren (mittels R&S®PR100-DF Peiler-Upgrade-Kit)	5
Anwendung des manuellen Peilmodus	6
Voraussetzungen	6
Vorgehen bei der Erfassung unbekannter Frequenzen.....	8
Empfängereinstellungen bei der Erfassung bekannter Frequenzen.....	9
Weitere Einstellungen	10
Funkortung mittels Homing	10
Funkortung mittels Triangulation.....	11
Auswertung der Ergebnisse	13
Bestellangaben	14

Einführung

Die räumliche Bestimmung einer Signalquelle ist eine der häufigsten Aufgaben in der Funkerfassung und Funkortung. Die dafür verwendeten technischen Lösungen reichen von einem einzelnen, tragbaren Gerät bis hin zu großen, fest installierten Systemen.

Rohde&Schwarz bietet mit dem R&S®PR100 tragbaren Empfänger eine kleine und effektive Lösung zur Lokalisierung von Signalen.

Wird der R&S®PR100 mit der Option R&S®PR100-DF Peiler-Upgrade-Kit zu einem tragbaren Peiler erweitert, kann schnell zwischen einer Peilantenne (z.B. R&S®ADD107 kompakte VHF/UHF-Peilantenne) und der R&S®HE300 aktiven Richtantenne gewechselt werden. So ist die Kombination beider Prinzipien (Verwendung eines echten Peilers oder einer Richtantenne) bei der Suche nach der Signalquelle möglich. Die für den R&S®PR100 erhältlichen Peilantennen können mit einem Magnetfuß auf beinahe jedem Fahrzeugdach ohne weiteren Installationsaufwand befestigt werden. Vom Fahrzeug aus grenzt der R&S®PR100 mit Peilfunktionalität dann den Zielbereich ein.

Um die Signalquelle physikalisch zu finden, wird im ermittelten Zielbereich anstelle der Peilantenne die R&S®HE300 verwendet. Der Nutzer folgt mittels Homing dem Signal zu Fuß bis zur Quelle.

Technische Grundlagen

Prinzip

Mit dem R&S®PR100 wird der Einfallswinkel eines Signals bestimmt, unabhängig davon, ob die Richtantenne oder der Empfänger als Einkanal-Funkpeiler verwendet wird. Um vom Einfallswinkel eines Signals auf die Position der Signalquelle zu schließen, werden mehrere Messungen unterschiedlicher Standorte kombiniert. Dabei werden im Allgemeinen zwei Methoden unterschieden: Homing und Triangulation.

Homing

Beim Homing bestimmt der Anwender die Richtung des einfallenden Signals und folgt dieser Richtung kontinuierlich bis zur Signalquelle. Steht nur ein R&S®PR100 zur Verfügung, ist dieses Vorgehen in vielen Fällen am schnellsten.

Triangulation

Eine Triangulation wird entweder mit einem oder mehreren Empfängern durchgeführt. Dabei wird von festen Standorten ausgehend der Einfallswinkel des zu lokalisierenden Signals ermittelt. Idealerweise ergibt sich bei der Überlagerung der Ergebnisse ein deutlicher Schnittpunkt; hier ist die Signalquelle zu erwarten. In der Praxis ist diese Methode nur bedingt einsetzbar: Vor allem in urbanen Gebieten mit hohen Gebäuden kommt es zu Reflexionen und Mehrwegeausbreitung. Demnach kann nur bei sehr sorgfältiger Auswahl der Peilstandorte mit einem akzeptablen Ergebnis gerechnet werden.

Manuelles Peilverfahren (mittels R&S®HE300 aktiver Richtantenne)

Die Auswertung des Empfangspegels einer mechanisch rotierten Antenne ist die einfachste Peilmethode. Für eine Triangulation müssen der Antennenstandort und der -rotationswinkel bekannt sein.

Die Richtwirkung der Antenne wird durch die Überlagerung von Teilwellen (deren Phasendifferenzen hängen vom Einfallswinkel ab) erreicht. Der maximale Signalpegel am Antennenausgang wird erzielt, sobald die Antenne in Richtung der höchsten Feldstärke gehalten wird.

Im Handgriff der R&S®HE300 aktiven Richtantenne (Modell .03) befinden sich ein digitaler Kompass und ein GPS-Empfänger. Damit wird die Auswertung der Richtung und der geografischen Position der Antenne direkt im R&S®PR100 möglich. Das manuelle Peilen mit der R&S®HE300 wird detailliert ab Seite 6 beschrieben; die Ergebnisauswertung (Signalpegel im Empfänger) erfolgt durch den Anwender.

Der R&S®PR100 kann aufgrund seines Signalverarbeitungs-konzeptes selbst kurze Emissionen mit kleinstem Signalpegel erfassen. Die Funkortung eines Signals mit der R&S®HE300 ist jedoch nur bei kontinuierlichen oder zumindest kontinuierlich gepulsten Signalen möglich. Ändert sich während einer 360°-Drehung mit der R&S®HE300 der Signalpegel oder verschwindet das Signal ganz, ist das Peilerggebnis nicht zuverlässig zu ermitteln. Kurzzeitige Funkstörungen oder kurze Gespräche mit Sprechfunkgeräten sind daher mit dieser Methode nur schwer zu orten.

Für die Abdeckung des gesamten Frequenzbereichs der R&S®HE300 (9 kHz bis 7,5 GHz) sind vier schnell austauschbare Antennenelemente verfügbar. Die Antennen sind optimiert, für ihren großen Frequenzbereich eine maximale Richtcharakteristik zu erzielen.

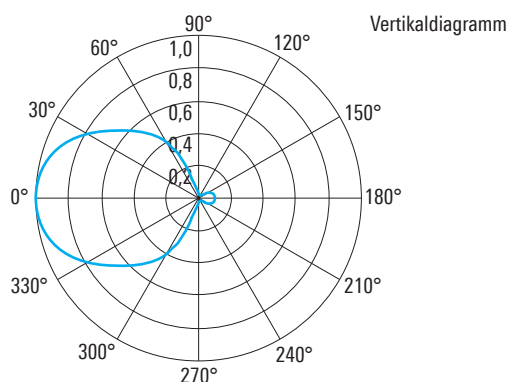
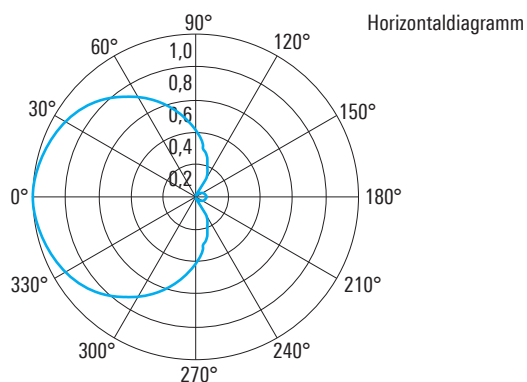
Automatisches Peilverfahren (mittels R&S®PR100-DF Peiler-Upgrade-Kit)

Mit dem R&S®PR100-DF Peiler-Upgrade-Kit wird der R&S®PR100 zu einem leistungsstarken, handlichen und tragbaren Funkpeiler. Je nach Frequenzbereich wird entweder das Watson-Watt-Peilverfahren oder das korrelative Interferometer verwendet. Zum Peilen im Frequenzbereich von 20 MHz bis 6 GHz sind die R&S®ADD107 (20 MHz bis 1,3 GHz) und R&S®ADD207 (690 MHz bis 6 GHz) kompakten Peilantennen erhältlich. Mit einem von Rohde&Schwarz patentierten Verfahren werden die Antennenelemente in der Peilantenne sequenziell auf den Empfängereingang geschaltet; das präzise Peilerggebnis wird berechnet.

Ein manuelles Eingreifen entfällt, daher sind – im Gegensatz zur manuellen Ortung mit der R&S®HE300 – auch kurzzeitige Aussendungen ermittelbar. Das Bestimmen des Peilerggebnisses durch den Vergleich von Pegeln wird ebenfalls hinfällig; dies erfolgt im Peiler mittels Peilantenne unter Verwendung unterschiedlicher Peilalgorithmen.

Der R&S®PR100 wird durch das Peiler-Upgrade-Kit funktional identisch mit dem R&S®DDF007 tragbaren Funkpeiler. Die in der Applikationsbroschüre „Ortung von Funksendern“ (PD 3606.7099.91) beschriebenen Verhältnisse gelten auch für den R&S®PR100 mit Peiler-Upgrade-Kit.

Strahlungsdiagramme des Antennenmoduls von 0,5 GHz bis 7,5 GHz



Anwendung des manuellen Peilmodus

Voraussetzungen

Computer Based Training

Für das manuelle Peilen (mittels R&S®HE300 aktiver Richtantenne) sind Kenntnisse zur Bedienung des R&S®PR100 tragbaren Empfängers erforderlich. Das klar strukturierte Bedienkonzept des Empfängers ist aber selbst für unerfahrene Anwender mit dem kostenlos erhältlichen Computer Based Training schnell erlernbar. Ein grundlegendes Verständnis zur Ausbreitung elektromagnetischer Wellen wird vorausgesetzt. Die Qualität des Ergebnisses hängt bei diesem manuellen Verfahren auch von der Erfahrung des Anwenders ab.

Auswahl des richtigen Zubehörs

Die Bestellangaben (Seite 14) bieten einen Überblick über das gesamte Zubehör. Dies sollte in Abhängigkeit vom geplanten Einsatzfall sorgfältig ausgewählt werden. Für längere Einsätze wird zum Beispiel die Verwendung des R&S®HA-Z222 Trageholsters empfohlen. Zum Trageholster gehören ein Brustgurt zur Vermeidung übermäßiger Belastung und ein Regenschutz zum Einsatz bei widrigen Wetterverhältnissen. Für die Verwendung in Fahrzeugen ist der R&S®HA-Z202 Fahrzeugadapter erhältlich; der R&S®PR100 wird dann über den gängigen 12-V-Anschluss in einem Fahrzeug versorgt.

Computer Based Training

Das kostenlos erhältliche Computer Based Training führt interaktiv durch alle Funktionen des R&S®PR100 und bietet eine gute Möglichkeit, das Bedienkonzept des Geräts kennenzulernen (erhältlich als DVD; nur in englischer Sprache; PD 3606.6870.52).

OpenStreetMap (OSM)

OpenStreetMap (OSM) ist eine frei editierbare Weltkarte, die im Internet unter folgendem Link zu finden ist:

<http://www.openstreetmap.org/>

OpenStreetMap (OSM) ist ein Wiki-Projekt, das Anwendern das Hochladen und Editieren geografischer Informationen (z.B. GPS-Track-Daten, den Verlauf einer Straße oder eines Flusses) ermöglicht. Diese Weltkarte wächst täglich.

Über OpenStreetMap Daten kann frei unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0 Lizenz verfügt werden.

R&S®PR100-GPS Softwareschnittstelle GPS

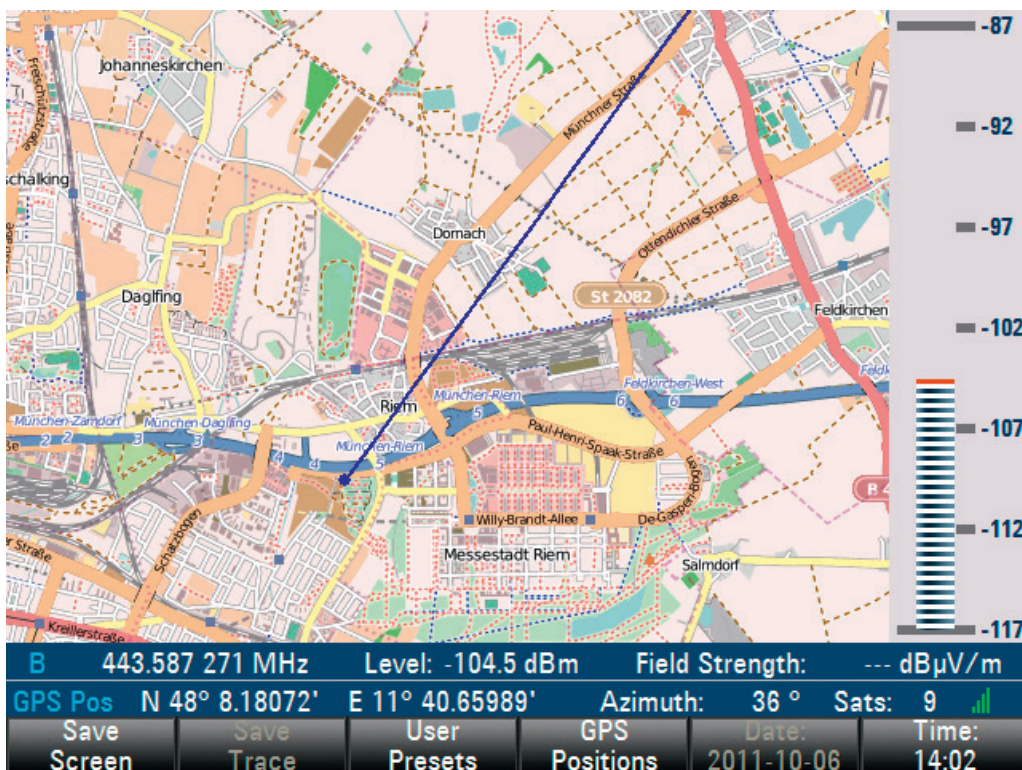
Die Option R&S®PR100-GPS ermöglicht das Anzeigen der eigenen Position und der Richtung der Antenne auf einer Karte direkt auf dem Display des R&S®PR100. Das Kartenmaterial ist im Internet erhältlich und kann mit der R&S®OpenStreetMapWizard-(OSMWizard)-Software heruntergeladen werden. Die Kartendaten werden auf der Speicherkarte des R&S®PR100 abgelegt und lassen sich von dort aus abrufen.

Die Antenne R&S®HE300 ist sowohl mit mechanischem als auch mit elektrischem Kompass lieferbar. Das Modell mit dem elektrischen Kompass enthält ein integriertes GPS-Modul. Bei installierter Option R&S®PR100-GPS können die Daten des elektrischen Kompasses und des GPS-Moduls im R&S®PR100 ausgewertet werden. Dafür wird das Datenkabel der Antenne direkt am AUX1-Anschluss des R&S®PR100 eingesteckt. Im General Configuration Menu wählt der Bediener als Zubehör Antenna für den AUX1-Anschluss aus; im Configuration Menu werden zusätzlich der AUX1-Anschluss als GPS und Compass Data Source eingestellt.

Der R&S®PR100 wählt, gemäß aktueller geografischer Position, automatisch die richtige, auf der SD-Karte gespeicherte Karte. Über die Wahl des Zoomlevels lässt sich dann die Größe des Kartenausschnitts bestimmen. Voraussetzung sind eine gültige GPS-Position und die dazugehörige Karte auf der Speicherkarte.

Sollen weitere Hilfsmittel (wie separater GPS-Empfänger) entfallen, ist die Option R&S®PR100-GPS für eine Funkortung mittels Triangulation zwingend erforderlich. Beim Homing ist die Darstellung der eigenen Position und Richtung der Antenne direkt auf dem Empfänger zwar hilfreich, jedoch nicht entscheidend für den Peilerfolg. Bei der Ortung von Funksignalen innerhalb von Gebäuden ist GPS-Empfang nicht möglich; daher erübrigen sich die Kartendarstellung und die GPS-Option.

Darstellung der eigenen Position und Richtung der Antenne.



Vorgehen bei der Erfassung unbekannter Frequenzen

Der R&S®PR100 empfängt mit der R&S®HE300 Signale im Frequenzbereich von 9 kHz bis 7,5 GHz. Mit der R&S®PR100-FP Frequenzaufbereitung SHF und der R&S®HF907DC SHF-Richtantenne mit Downconverter vergrößert sich der Einsatzbereich bis 18 GHz.

Zum Aufspüren der Funksignalquelle muss die Sendefrequenz bekannt sein oder ermittelt werden. Bei der Störungssuche ist der grobe Frequenzbereich meist bekannt. Passend zum zu ortenden Frequenzbereich wird das entsprechende Antennenelement der R&S®HE300 ausgewählt. Beim Aufspüren von Signalen unbekannter Frequenz wird zuerst die Sendefrequenz ermittelt. Mit der Option R&S®PR100-PS Panorama-Scan wird der ausgewählte Frequenzbereich mit einer Scangeschwindigkeit von bis zu 2 GHz/s durchlaufen. Damit erhält der Nutzer schnell einen Überblick über die Belegung des Spektrums. Veränderungen, hervorgerufen durch illegale Funkdienste, Störquellen, Interferenzen, temporäre Aussendungen etc., lassen sich einfach erkennen. Stoppt der Nutzer den Panorama-Scan, wird der R&S®PR100 in den Mithörmodus versetzt. Signale sind dann demodulierbar, ohne den Scanmodus zu verlassen. Mit der Markerfunktion lässt sich das interessierende Signal leicht auswählen, demodulieren und auf seinen Signalinhalt hin analysieren. Dafür wird der Dual-Spectrum-Anzeigemodus genutzt. Die Anzeige des R&S®PR100 wird dabei horizontal in zwei Hälften unterteilt: Die untere Hälfte zeigt den Panorama-Scan; in der oberen Hälfte wird das Echtzeit-Spektrum abgebildet. In Abhängigkeit davon, ob der Empfänger gerade scannt oder sich im Mithörmodus befindet, ist entweder die obere oder die untere Hälfte aktiv. Ist das gesuchte Signal noch nicht ermittelt, wird der Panorama-Scan fortgesetzt.

Optimierte Bedienung des Panorama-Scan im Modus Dual Spectrum.



Empfängereinstellungen bei der Erfassung bekannter Frequenzen

Wenn die Frequenz des zu lokalisierenden Signals bekannt ist, können die Empfängereinstellungen für die Funkortung optimiert werden. Der Empfänger wird dazu in den Festfrequenzmodus (FFM, Fixed Frequency Mode) gebracht, und die Mittenfrequenz wird auf die Frequenz des zu lokalisierenden Signals eingestellt. Im FFM stellt der R&S®PR100 eine maximale Bandbreite von 10 MHz in Echtzeit dar. Für die Signalortung werden die Bandbreite der Spektumdarstellung und des Demodulationspfades auf die Bandbreite des zu ortenden Signals angepasst. Dabei wird die Bandbreite des Demodulationspfades nach Möglichkeit exakt auf die Signalbandbreite eingestellt (im R&S®PR100 maximal 500 kHz), um die Genauigkeit der Pegelmessung zu maximieren. Die Bandbreite der Spektumdarstellung sollte groß genug sein, um benachbarte Signale im Blick zu behalten und Pegelunterschiede im zu ortenden Signal deutlich erkennen zu können. Gleichzeitig sollte das zu ortende Signal deutlich von benachbarten Signalen zu unterscheiden sein.

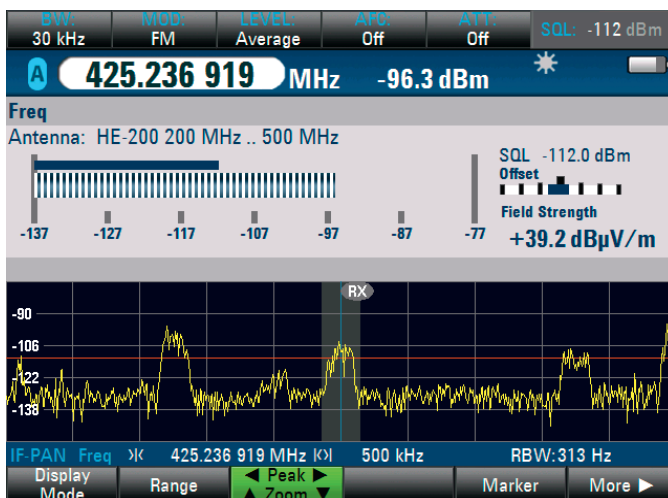
Bei Reduktion der Bandbreite in der Darstellung des Spektrums sinkt gleichzeitig der Rauschpegel in der Anzeige. Wird jedoch zu weit in das zu ortende Signal gezoomt, verliert der Anwender schnell den Blick auf benachbarte Signale. Daher kann die im Spektrumpfad eingestellte Bandbreite immer nur ein Kompromiss sein und unterscheidet sich von Nutzer zu Nutzer.

Mit dem empfohlenen RX+Spectrum-Anzeigemodus erhält der Nutzer eine klare Anzeige der Pegelmessung und kann gleichzeitig das Signal im Spektrum im Blick behalten. Die Auswertung der Kompassdaten kann auf Wunsch als Kompassrose zur Anzeige hinzugefügt werden.

Polarisation des zu lokalisierenden Signals

Das flexible Konzept der R&S®HE300 erlaubt nicht nur einen schnellen Wechsel der Antennenelemente für verschiedene Frequenzbereiche: Jedes Antennenelement kann für horizontal und vertikal polarisierte Signale verwendet werden. Dazu wird das verwendete Element aus der Halterung gelöst, um 90° gedreht und wieder im Handgriff fixiert.

Modus RX+Spectrum.



Weitere Einstellungen

Maximaler Signalpegel

Im manuellen Peilmodus muss der Anwender bei einer 360°-Drehung um die eigene Achse eigenständig den maximalen Signalpegel ermitteln. Das setzt das Registrieren kleinster Pegelunterschiede durch den Anwender voraus. Dabei unterstützt das Einschalten des Display Max Hold: Im Spektrum und in der Pegelanzeige wird der Maximalwert durch eine rote Linie gekennzeichnet. Bei Erreichen eines neuen Maximalwertes wird dieser für eine bestimmte, vom Nutzer festgelegte Zeit (Nachleuchtdauer) durch die rote Linie angezeigt und fällt danach auf den aktuell gemessenen Wert zurück. Für den manuellen Peilmodus ist eine Nachleuchtdauer von circa 2 s sinnvoll. So kann bei einer Drehung mit der Richtantenne die Änderung des Signalpegels mit dem eigenen Drehwinkel verfolgt werden.

Messeinstellungen

Zur optimalen Verfolgung der Signalpegeländerung bei der Drehung mit der Richtantenne werden folgende Einstellungen empfohlen:

- Messzeit (Measure Time): 200 ms
- Pegel (Level): Average
- ZF-Panorama-Anzeigemodus (IF-PAN Display Mode): Normal
- Messmodus (Measuring Mode): Continuous

Auffinden eines Miniatursenders mittels Homing.



Tone-Funktion

Der R&S®PR100 bietet mit der Tone-Funktion die Möglichkeit, Pegelunterschiede akustisch über den eingebauten Lautsprecher oder die Kopfhörerbuchse¹⁾ auszugeben. Diese Funktion ist für die Funkortung mittels Homing unerlässlich (für die Funkortung mittels Triangulation wirkt sie unterstützend). Die Aktivierung der Tone-Funktion erfolgt über die Tasten RX ▷ Tone (F5). Der Empfänger vergleicht den gemessenen Pegel im Demodulationspfad mit einem über das MST-Drehrad einstellbaren Wert und gibt konstant einen Ton aus. Je höher der gemessene Pegel (im Vergleich zum Referenzpegel) ist, desto höher ist die Frequenz des ausgegebenen Tons. Pegeländerungen bei der Drehung mit der Antenne sind somit nicht nur visuell auf dem Display, sondern auch akustisch wahrnehmbar. Vor allem beim Homing muss der Referenzpegel kontinuierlich angepasst werden, da sich der Nutzer im Idealfall der Signalquelle nähert und sich so auch der Pegel des empfangenen Signals erhöht. Der Referenzpegel²⁾ sollte so eingestellt werden, dass sich der vom R&S®PR100 ausgegebene Ton in einem gut hörbaren Bereich befindet. Selbst kleinste Pegelunterschiede sind so leicht wahrnehmbar.

Funkortung mittels Homing

Homing mit dem R&S®PR100 (in Verbindung mit der R&S®HE300) ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Signalquelle in näherer Umgebung erwartet wird. Dafür sind weder Karten, GPS noch Kompass zwingend erforderlich. Vor allem innerhalb von Gebäuden ist dieser Ansatz einfach zu realisieren. Besonders in reflexionsbehafteten Umgebungen erweist sich Homing als effektive Lösung. Während bei der Triangulation die Richtung einer Reflexion fälschlicherweise als Peilung des zu ortenden Signals interpretiert werden kann, erkennt der Anwender beim Homing schnell, bei welchem Pegelmaximum es sich um eine Reflexion oder um das eigentliche Signal handelt.

Zur Durchführung des Homing wird die Mittenfrequenz des R&S®PR100 auf die Frequenz des zu ortenden Signals eingestellt (siehe Seite 9). Wichtig ist zusätzlich die Wahl des richtigen Antennenelements der R&S®HE300. Die Elemente können auch außerhalb des spezifizierten Frequenzbereiches Signale empfangen, allerdings entsprechen die Richtwirkung und Empfindlichkeit der Antenne dann nicht mehr den gesicherten Werten.

¹⁾ Der Einsatz von Kopfhörern wird empfohlen, um den Einfluss von Umgebungsgeräuschen zu reduzieren und andere Personen in der Umgebung nicht zu stören.

²⁾ Der Referenzpegel beziehungsweise der Pegel, dem ein Ton von 400 Hz zugeordnet wird, ist zwischen -14 dBµV und +94 dBµV einstellbar.

Zuerst bestimmt der Anwender, aus welcher Richtung das Signal eintrifft. Dazu dreht er sich mit der Richtantenne in der Hand in circa 25 s bis 30 s vollständig um die eigene Achse und versucht dabei über die Pegelanzeige auf dem Display und den ausgegebenen Ton den maximalen Pegel zu bestimmen. Die Richtung, aus der das Signal mit maximalem Pegel empfangen wird, gibt die Bewegungsrichtung hin zur Signalquelle vor.

Der Anwender folgt nun kontinuierlich der Richtung des stärksten Pegels. Dies erfordert langsame und kontrollierte Bewegungen mit der Richtantenne. Ist die grobe Richtung der einfallenden Wellenfront bekannt, bewegt der Anwender die Richtantenne mit kleinen Abweichungen immer im Bereich des stärksten Pegels.

Im Idealfall nähert sich der Anwender der Signalquelle bis zum Auffinden derselben. Dabei erhöht sich kontinuierlich der empfangene Signalpegel. Der Referenzpegel der Tone-Funktion ist deshalb ständig nachzuregulieren, damit der Ton weiterhin im gut hörbaren Bereich bleibt. Die anfangs durchgeführte komplette Drehung um die eigene Achse kann ebenfalls wiederholt werden, um sicherzustellen, dass sich der Anwender tatsächlich der Signalquelle nähert und nicht einer Reflexion des Signals folgt. Befindet sich die Signalquelle in einem für den Nutzer zugänglichen Bereich, kann diese mittels Homing eindeutig identifiziert werden. Bei der Störungssuche oder der Suche nach versteckten Miniatursendern ist gerade diese Genauigkeit unerlässlich, da die tatsächliche Quelle zu bestimmen ist.

Beispiel

Das grobe Maximum wird bei einem Pegel von $-104,5$ dBm und einem Azimut von 36° bestimmt. Die Antenne wird nun solange nach links bewegt, bis der Pegel auf $-107,5$ dBm abgefallen ist. Der Anwender merkt sich dabei den Azimut. Danach wird die Richtantenne solange nach rechts ausgelenkt, bis der Pegel auf $-107,5$ dBm gesunken ist. Der Mittelwert aus beiden Azimut-Werten ist mit großer Wahrscheinlichkeit die Richtung, aus der das Signal tatsächlich am Messstandort eintrifft.

Anstelle des hier gewählten Beispiels (-3 dB) sind in Einzelfällen -6 dB oder -8 dB sinnvoll. Dies hängt vor allem vom Strahlungsdiagramm der Antenne und den Umgebungsbedingungen ab.

Funkortung mittels Triangulation

Bei diesem Verfahren wird mit einem R&S®PR100 und einer R&S®HE300 an mindestens zwei unterschiedlichen Standorten die Richtung des einfallenden Signals bestimmt. Die Messungen ergeben idealerweise zwei Geraden auf der Karte, die sich am Ort der Signalquelle schneiden. Das Ergebnis ist deutlich schneller bestimmbar, wenn mehrere Anwender mit mehreren Empfängern und Richtantennen messen. Um das Ergebnis jeder Messung zu speichern, sind der elektronische Kompass und das GPS-Modul im Handgriff der R&S®HE300 notwendig. Nur so können mehrere, einzelne Messungen zu einem Triangulationsergebnis zusammengeführt werden. Diese können entweder mit einem Gerät nacheinander oder mit mehreren Geräten gleichzeitig an unterschiedlichen Standorten erzeugt werden.

Entscheidend für das Messergebnis ist die Wahl der Standorte, an denen die Messung durchgeführt wird. Diese sind idealerweise erhöht und sollten eine Sichtverbindung zur Signalquelle haben. Da die Position der Signalquelle unbekannt ist, ist der Erfolg einer Triangulation in stark bebauten Gebieten deutlich begrenzt; das Messergebnis wird zusätzlich durch Mehrwegeausbreitung, Abschattung und Reflexionen stark verfälscht.

Zur Durchführung der Triangulation wird der R&S®PR100 optimal für die Funkortung eingestellt; seine Mittenfrequenz wird auf die Frequenz des zu ortenden Signals abgestimmt (siehe Seite 9). Nun bestimmt der Nutzer, aus welcher Richtung das Signal eintrifft. Dazu dreht er sich mit der Richtantenne in der Hand in circa 25 s bis 30 s vollständig um die eigene Achse und bestimmt so grob die Richtung, aus der das zu lokalisierende Signal mit maximalem Pegel empfangen wird. Oft zeigt sich dabei mehr als ein Maximum, wobei davon auszugehen ist, dass meist das Maximum mit dem insgesamt stärksten Pegel korrekt ist. Lässt der gewählte Standort es zu, kann die Drehung an einer zweiten Position wiederholt werden, die sich marginal von der ersten Position (nur wenige Meter) unterscheidet. Damit können teilweise eventuelle Nebenmaxima ausgeschlossen werden. Die Kartendarstellung unterstützt zusätzlich bei der Bestimmung des ungefähren Maximums, wenn der Zielbereich vorher grob bekannt ist.

Ist die Richtung des Maximums näherungsweise bekannt, muss sie zur Verwendung in der Triangulation exakt bestimmt (Blick auf die Pegelanzeige) werden. Bereits Abweichungen um wenige Grad können in größerer Entfernung zu entscheidenden Fehlern führen. Ausgehend vom ungefähren Maximum wird die Richtantenne so lange nach links beziehungsweise nach rechts vom Maximum weg bewegt, bis der angezeigte Pegelwert um 3 dB abfällt. Das exakte Maximum liegt dann genau in der Mitte zwischen beiden Werten.

Parallel zur Anzeige der eigenen Position und der Richtung der Antenne auf der Karte wird der Ton über die Tone-Funktion ausgegeben (siehe Seite 10); der gemessene Pegelwert wird grafisch und als Zahlenwert dargestellt. Damit behält der Anwender alle notwendigen Informationen im Blick und kann die Richtung exakt bestimmen, ohne zwischen verschiedenen Anzeigen wechseln zu müssen. Nach erfolgreicher Ermittlung der exakten Richtung werden am R&S®PR100 der eigene Standort und die ermittelte Richtung über die Save-Current-Position-Funktion gespeichert.

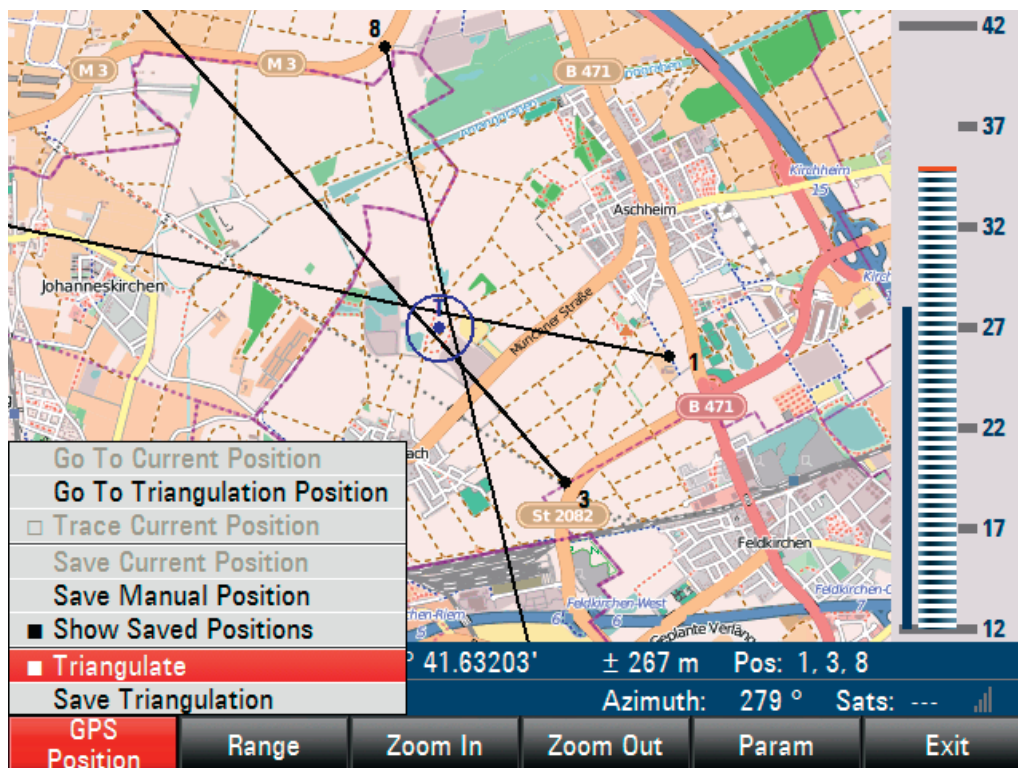
Das weitere Vorgehen hängt von der Anzahl der verfügbaren Empfänger und Richtantennen ab: Bei Einsatz mehrerer Empfänger und Antennen können auf einem R&S®PR100 die Messergebnisse (z.B. GPS-Positionen und Richtungen) aller verwendeten Empfänger zusammengeführt werden. Steht jedoch nur ein System zur Verfügung, bewegt sich der Anwender zu einem weiteren Standort und wiederholt dort den Messvorgang. Für eine Triangulation sind mindestens zwei Messungen an unterschiedlichen Standorten erforderlich. Grundsätzlich gilt: Je mehr Messungen für die Triangulation verwendet werden, desto präziser wird das Gesamtergebnis. Am R&S®PR100 können maximal fünf Messungen kombiniert werden. Beim Speichern der einzelnen Messungen kann für jede Mes-

sung ein eigener Name vergeben werden; der Anwender wählt dann aus einer Liste diejenigen Messungen aus, die für die Triangulation verwendet werden.

Das Triangulationsergebnis wird direkt auf der Karte im Display des R&S®PR100 angezeigt. Werden für die Triangulation nur zwei Ergebnisse verwendet, wird der Schnittpunkt beider Geraden markiert (sollten sie sich schneiden). Bei Verwendung von mehr als zwei Ergebnissen wird der Schwerpunkt der geometrischen Figur angezeigt, die aus den sich schneidenden Geraden entsteht. Zusätzlich wird ein Kreis um den Schwerpunkt angezeigt. Der Radius dieses Kreises hängt von der Divergenz der Messergebnisse ab.

Da der Nutzer selbst wählen kann, welche Messungen für die Berechnung der Triangulation verwendet werden, beeinflusst er das Gesamtergebnis. So kann sich bei der Messergebnisauswertung herausstellen, dass eine Standortmessung nicht verwendbar ist. Diese wird dann bei der Triangulation nicht berücksichtigt. Das Ergebnis einer Triangulation ist nie das direkte, physikalische Auffinden der Signalquelle, sondern die präzise Eingrenzung des Zielbereichs. Die vielen am Prozess beteiligten Variablen (z.B. Standortwahl, exakte Bestimmung der Richtung des Maximums) beeinflussen die Genauigkeit der Triangulation.

Ergebnis der Triangulation direkt auf dem Display des R&S®PR100.



Auswertung der Ergebnisse

Homing

Das Prinzip des Homing war erfolgreich, wenn die Signalquelle lokalisiert und direkt identifiziert wurde. Zu Dokumentationszwecken kann die GPS-Position der Quelle im R&S®PR100 gespeichert werden, sofern GPS-Empfang an dieser Position möglich ist. Je nach Anwendungsfall wird die Quelle dann entweder abgeschaltet, beseitigt oder repariert.

Triangulation

Die Auswertung eines Triangulationsergebnisses ist vielfältig. Ziel ist natürlich auch hier die Lokalisierung und Identifikation der Signalquelle. Liegt das Ergebnis der Triangulation in einem für den Nutzer zugänglichen Bereich (z.B. in einer bestimmten Wohnsiedlung oder in einem Gebäudekomplex), kann basierend auf diesem Ergebnis die Signalquelle mittels Homing ermittelt werden. Dies trifft für die meisten Anwendungsfälle zu. Die Triangulation dient also oftmals als Grundlage, um die Suche nach einer Signalquelle in einem weiträumigen Gebiet einzuzugrenzen.

Liegt das Ergebnis der Triangulation in einem für den Nutzer unzugänglichen Bereich (z.B. in einer Halle auf einem Firmengelände, auf einem hohen Mast) oder liegt das Ziel sogar in einem unzugänglichen, militärischen Gebiet, muss das Triangulationsergebnis meist weitergegeben werden. Das kann beispielsweise ein Hinweis der Regulierungsbehörde an einen Mobilfunknetzbetreiber sein, an einem seiner Masten die Funktion der Basisstationen zu überprüfen. Als Nachweis dienen Screenshots vom Display des R&S®PR100, auf denen das Ergebnis der Triangulation sichtbar ist.

Ist die Kartendarstellung des R&S®PR100 unzureichend, muss das Ergebnis exportiert werden. Alle gespeicherten GPS-Positionen mit Richtungs- und Frequenzinformationen des Signals werden in einer .gpx-Datei auf der SD-Karte des Empfängers gespeichert. Dieses Datenformat wird oft zur Sicherung von Geodaten eingesetzt. Die Werte aus dieser Datei können zur Dokumentation oder Weitergabe in andere Programme wie Google Earth importiert werden. Google Earth erkennt automatisch die gespeicherten Positionen aus der .gpx-Datei; die gespeicherten Richtungen der Antenne müssen beim Importieren der .gpx-Datei in Google Earth allerdings manuell eingetragen werden.

Anzeige des Triangulationsergebnisses in Google Earth.



Bestellangaben

Bezeichnung	Typ, Beschreibung	Bestellnummer
Grundgerät		
Tragbarer Empfänger	R&S®PR100 ZF-Spektrum (max. 10 MHz), Spektrogramm (Wasserfalldarstellung), Lithium-Ionen-Batterie, 6-zellig, Steckernetzteil, SD-Karte zur Speicherung von Nutzereinstellungen, Schultertragegurt	4079.9011.02
Dokumentation der Kalibrierungswerte	R&S®PR100-DCV	4071.9906.02
Softwareoptionen		
Panorama-Scan	R&S®PR100-PS RF-Scan, schneller FFT-Scan in frei wählbarem Frequenzintervall, spektrale Auflösung einstellbar	4071.9306.02
Interne Aufzeichnung	R&S®PR100-IR Aufzeichnung von Messdaten im Gerät (interner 64-Mbyte-Speicher) bzw. auf SD-Karte, Audiodaten im WAV-Format (abspielbar z.B. mit Windows Media Player), Aufzeichnung von I/Q-Daten, Aufzeichnung von Spektren und Wasserfalldaten, R&S®PR100-Control zur Wiedergabe der aufgezeichneten Daten	4071.9358.02
Fernsteuerung	R&S®PR100-RC Fernsteuerung des Empfängers über LAN-Schnittstelle (SCPI-Protokoll); Datenübertragung der Messdaten über LAN-Schnittstelle; demodulierte I/Q-Daten (bis 500 kHz Bandbreite) über LAN-Schnittstelle übertragbar; R&S®PR100-Control Fernsteuersoftware (für Fernbedienung, Datenaufzeichnung und Datenwiedergabe auf PC)	4071.9406.02
Extern ausgelöste Messung	R&S®PR100-ETM Ein externer Sensor löst im R&S®PR100 einen Messvorgang aus; der Sensor wird über die AUX-Schnittstelle angeschlossen (Sensor nicht im Lieferumfang enthalten)	4071.9458.02
Feldstärkemessung	R&S®PR100-FS Im Gerät programmierte Antennenfaktoren werden zur Errechnung der Feldstärke benutzt, die Feldstärkeanzeige erfolgt im Gerät direkt in dBµV/m	4071.9506.02
Frequenzaufbereitung SHF	R&S®PR100-FP Die Downconverter-Einheit der Antenne R&S®HF907DC wird über ein Steuerkabel angeschlossen; der Empfänger rechnet die umgesetzten Signale frequenz- und lagerichtig um; das Display zeigt die tatsächlich empfangenen Signale bis 18 GHz an, eine nachträgliche Umrechnung der umgesetzten Signale durch den Nutzer entfällt daher (Antenne und Downconverter nicht im Lieferumfang enthalten)	4071.9558.02
Softwareschnittstelle GPS	R&S®PR100-GPS zur Verarbeitung des Datenstroms eines externen GPS-Moduls (GPS-Modul nicht im Lieferumfang enthalten)	4071.9958.02
Peiler-Upgrade-Kit	R&S®PR100-DF zur Aufrüstung des R&S®PR100 in einen tragbaren Peiler (Peilantenne und Kabelsatz nicht im Lieferumfang enthalten)	4096.2805.02
Zubehör		
Batterie-Kit	R&S®PR100-BP Lithium-Ionen-Batterie, 6-zellig, Ladeschale, Steckernetzteil	4071.9206.02
Koffer-Kit	R&S®PR100-SC Hartschalenkoffer (Stauraum für Zubehör ist im Koffer vorhanden), Kopfhörer und Teleskopstabantenne	4071.9258.02
Fahrzeugadapter	R&S®HA-Z202	1309.6117.00
Trageholster	R&S®HA-Z222 Brustgurt, Tasche und Regenschutz	1309.6198.00
Tragetasche	R&S®HA-Z220 gepolsterte Tasche	1309.6175.00
GPS-Empfänger	R&S®HA-Z240 externer GPS-Empfänger für R&S®PR100	1309.6700.03

Bezeichnung	Typ, Beschreibung	Bestellnummer
Aktive Richtantenne	R&S®HE300	4067.5900.02
	3 Antennenmodule von 20 MHz bis 7,5 GHz, Handgriff mit schaltbarem Vorverstärker, Hartschalenkoffer mit Stauraum für R&S®PR100 (Modell mit mechanischem Kompass)	
Aktive Richtantenne	R&S®HE300	4067.5900.03
	3 Antennenmodule von 20 MHz bis 7,5 GHz, Handgriff mit schaltbarem Vorverstärker, Hartschalenkoffer mit Stauraum für R&S®PR100 (Modell mit elektronischem Kompass und integriertem GPS-Modul)	
HF-Option zu R&S®HE300	R&S®HE300HF	4067.6806.02
	Rahmenantenne zu aktiver Richtantenne, Rahmenantenne von 9 kHz bis 20 MHz	
SHF-Antenne und Zubehör		
SHF-Richtantenne mit Downconverter	R&S®HF907DC	4070.8006.02
Kabelsatz	R&S®HF907DC-K1	4070.8958.02
Stativadapter	R&S®HF907DC-Z1	4079.3113.02
Koffer	R&S®HF907DC-Z2	4079.3207.02
Peilantennen und Zubehör		
Kompakte VHF/UHF-Peilantenne	R&S®ADD107	4090.7005.02
Kompakte UHF/SHF-Peilantenne	R&S®ADD207	4096.0002.02
Fahrzeugadapter mit Magnetfuß	R&S®ADD17XZ3	4090.8801.02
Holzstativ	R&S®ADD17XZ6	4090.8860.02
Kabelsatz mit Konverter	R&S®ADD17XZ5	4090.8660.02

Service Ihres Vertrauens

- ▮ Weltweit
- ▮ Lokal und persönlich
- ▮ Flexibel und maßgeschneidert
- ▮ Kompromisslose Qualität
- ▮ Langfristige Sicherheit

Rohde & Schwarz

Der Elektronikkonzern Rohde & Schwarz ist ein führender Lösungsanbieter in den Arbeitsgebieten Messtechnik, Rundfunk, Funküberwachung und -ortung sowie sichere Kommunikation. Vor mehr als 75 Jahren gegründet ist das selbstständige Unternehmen mit seinen Dienstleistungen und einem engmaschigen Servicenetz in über 70 Ländern der Welt präsent. Der Firmensitz ist in Deutschland (München).

Der Umwelt verpflichtet

- ▮ Energie-effiziente Produkte
- ▮ Kontinuierliche Weiterentwicklung nachhaltiger Umweltkonzepte
- ▮ ISO 14001-zertifiziertes Umweltmanagementsystem

Certified Quality System
ISO 9001

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

www.rohde-schwarz.com

Kontakt

- ▮ Europa, Afrika, Mittlerer Osten | +49 89 4129 12345
customersupport@rohde-schwarz.com
- ▮ Nordamerika | 1 888 TEST RSA (1 888 837 87 72)
customer.support@rsa.rohde-schwarz.com
- ▮ Lateinamerika | +1 410 910 79 88
customersupport.la@rohde-schwarz.com
- ▮ Asien/Pazifik | +65 65 13 04 88
customersupport.asia@rohde-schwarz.com
- ▮ China | +86 800 810 8228/+86 400 650 5896
customersupport.china@rohde-schwarz.com

R&S® ist eingetragenes Warenzeichen der Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Eigennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer | Printed in Germany (sk)
PD 3606.7953.91 | Version 01.00 | Januar 2013 | R&S®PR100
Daten ohne Genauigkeitsangabe sind unverbindlich | Änderungen vorbehalten
© 2013 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG | 81671 München, Germany



3606795391