

# Messungen an Tetra-Funkgeräten

## Von analog zu digital – was sich für die Funkwerkstatt ändert

Thomas Riedl

Die Einführung des digitalen BOS-Funks nach der Tetra-Norm steht nun auch in Deutschland bevor. Knackpunkt bei der Migration ist nicht nur der Aufbau von Netztechnik: Über Jahrzehnte gewachsene Abläufe müssen sich ändern, der offene Kanal und somit der BOS-Funk, wie wir ihn heute kennen, gehört der Vergangenheit an. Tausende Nutzer und Fahrzeuge müssen von Funkwerkstätten mit neuen Funkgeräten versorgt werden, und auch die tägliche Arbeit der Funktechniker wird sich grundlegend ändern: Durch die digitale Übertragung der Informationen haben Tetra-Funkgeräte völlig andere Kenndaten als die analogen FuG, die bisher bei den BOS im Einsatz sind. Doch mit Hilfe leistungsfähiger Meßtechnik, wie sie bereits verfügbar ist, werden sich die Funkwerkstätten der BOS und freie Betriebe schnell auf die neuen Anforderungen einstellen können.

Die Definition der Tetra-Luftschnittstelle, also die Beschreibung der zu verwendenden Funktechnik, wurde vom ETSI in der europäischen Norm EN 300 392 vorgegeben. Die EN 300 394 gehört zur gleichen Normenfamilie und stellt die Prüfvorschrift für aufwendige Abnahmetests an neuentwickelten Funkgeräten und Basisstationen dar – Prüfanweisungen für die Gerätereparatur und -überprüfung können also daraus abgeleitet werden.

Anders als beim analogen Funk – dort reichen ein Signalgenerator und ein Meßempfänger, um ein Funkgerät zu überprüfen – muß ein Meßgerät für Tetra, etwa wie in Bild 1 gezeigt, eine Basisstation simulieren und mit dem Funkgerät eine Registrierung einleiten, damit es aktiv sendet. Dies wird nur gelingen, wenn der vom Meßgerät ausgesendete Organisationskanal die identischen Netzparameter (MCC und MNC, also die Länder- und eine Netzkennung) wie das Funkgerät enthält. Zudem muß der Tester für Organisationskanal (MCCH) und Verkehrskanal (TCH) Frequenzen nutzen, auf denen auch das Funkgerät arbeitet. In Deutschland sind für digitalen Bündelfunk zwei Frequenzbereiche

mit je 400 Kanälen zugewiesen: die Bereiche 380 bis 400 MHz für das BOS-Netz und 410 bis 430 MHz für private Funknetze, jeweils mit 10 MHz Duplexabstand und 12,5 kHz Kanalversatz. Zu einer vollständigen Überprüfung sollte ein Funkgerät je einmal



Bild 1: Meßplatz für Tetra-Funkgeräte – der 2303 Stabilock von Willtek

auf einem Kanal an der oberen und unteren Bandgrenze und in der Bandmitte getestet werden.

Sind diese Parameter richtig am Meßgerät eingestellt und wird die Netzsimulation gestartet, bucht sich das Funkgerät innerhalb kurzer Zeit beim Meßgerät ein. Dabei überträgt es auch einige wichtige Informationen, nämlich die Gerätekategorie und vorhandene Funktionen wie aktivierte Verschlüsselung und die maximal mögliche Sendeleistung. Auch die im Funkgerät aktiven Rufgruppen werden beim Netz – in diesem Fall dem Meßgerät – angemeldet und dort angezeigt. Diese Information kann schon als erstes Ergebnis der Geräteüberprüfung dienen, denn diese Rufgruppen sind ein wichtiger Bestandteil der Geräteadressierung: Sollte bei der Programmierung des Gerätes in der Funkwerkstatt eine Gruppe vergessen worden sein, kann dies dazu führen, daß das Gerät auf einen Einzelruf antwortet, jedoch nicht auf einen Gruppenruf, was im Einsatzfall keinesfalls vorkommen darf. Deshalb sollte mittels eines Testrufs überprüft werden, ob alle relevanten Gruppen im Gerät korrekt vorhanden sind. Dieser Testruf ist ohnehin nötig, um die Messung

### Das Thema in Kürze

Welche Messungen und Kriterien bestimmen in Zukunft darüber, ob ein Funkgerät für das digitale Tetra-Netz der BOS ordnungsgemäß funktioniert? Der Beitrag gibt Antwort auch auf diese Frage und zeigt, wie mit moderner Meßtechnik die Einsatzkräfte etwa mittels automatischer Meßabläufe ihre Funkgeräte sogar selbst überprüfen können und Managementsysteme helfen, den Gerätestatus zu dokumentieren.

Thomas Riedl ist Product Marketing Manager bei der Willtek Communications GmbH

der funktechnischen Parameter zu starten, die ein dauerndes Senden des Funkgerätes bedingt.

### Sendermessungen

Ist ein Duplexruf aufgebaut, befindet sich das Funkgerät direkt im Sendebetriebs, bei einem Simplexruf muß zusätzlich noch die Sprechaste gedrückt werden, damit die Meßergebnisse der Sendermessung angezeigt werden. Die Messung der Sendeleistung ist jedoch nur auf den ersten Blick vergleichbar mit dem Analogfunk: Durch das bei Tetra verwendete Mehrfachzugriffsverfahren TDMA (Time Division Multiple Access) mit vier Zeitschlitzen sendet das Funkgerät nicht kontinuierlich, sondern nur 14,167 ms lang während eines TDMA-Rahmens von 56,67 ms Dauer. Die Messung der Sendeleistung geschieht während dieses aktiven Zeitschlitzes. Technologisch ist dies kein Problem mehr, arbeitet doch selbst das mehr als 15 Jahre alte GSM mit wesentlich kürzeren Zeitschlitzen. Dennoch muß überprüft werden, ob der Sender des Tetra-Funkgerätes die geforderte Leistung innerhalb der definierten Zeitintervalle ein- und austastet, ohne zu über- und untersteuern. Dies zu überprüfen, geschieht mit der Power/Time-Template-Messung, bei der das Ein- und Ausschalten des Senders über die geforderte Zeit innerhalb eines Toleranzkorridors gemessen und grafisch dargestellt wird. Die Toleranzen ergeben sich aus EN 300 392, 6.4.5. Verletzt ein Funkgerät die Toleranzen, so ist der Test nicht bestanden. Außerhalb des zugeteilten Zeitschlitzes (Non-Active Transmit State) muß die Sendeleistung zudem unter ein definiertes Minimum fallen, es sind relativ zum Träger maximal -70 dBc bzw. absolut maximal -36 dBm zulässig.

Zum Ausgleich der Laufzeit des Funksignals wird der gesamte Burst geringfügig früher oder später gesendet, um genau zur richtigen Zeit bei der Basisstation einzutreffen. Würde diese Frame Alignment genannte Technik nicht einwandfrei funktionieren, könnte es vorkommen, daß das Funkgerät in einen benachbarten Zeitschlitz sendet

und somit die Kommunikation anderer Teilnehmer stört. Der zugehörige Parameter wird meßtechnisch ermittelt und in der Einheit Symbolperioden angezeigt.

B(2k-1)	B(2k)	D <sub>φ</sub> (k)
1	1	-3π/4
0	1	+3π/4
0	0	+π/4
1	0	-π/4

Erlaubte Phasensprünge bei π/4-DQPSK  
(Quelle: EN 300 392-7)

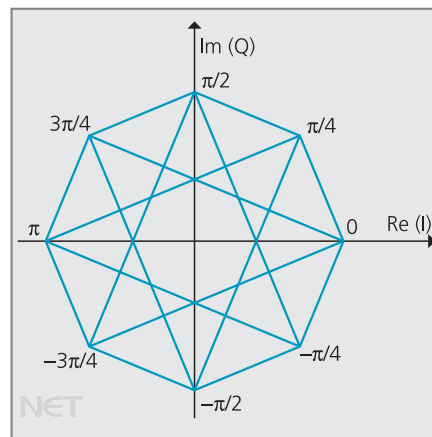


Bild 2: Das Konstellationsdiagramm ergibt sich aus den in der Tabelle gezeigten erlaubten Phasensprünge

Die Sendeleistung ist in festgelegten Schritten einstellbar. Diese werden von Tetra-Funkgeräten in einer Leistungskontrolle abhängig vom Empfangspegel gesteuert (Open Loop Power Control). Der Tester sollte die Leistungsklasse des Tetra-Funkgerätes abhängig vom Signalpegel automatisch ermitteln.

Eine Mittenfrequenzabweichung des Trägers ist beim Tetra-Signal ebenfalls kritischer als in der analogen Welt. Während eine Fehllage des analogen Trägers in den meisten Fällen „nur“ zu einer Verzerrung des Signals führt, kann eine Abweichung von mehr als 80 Hz beim digitalen Tetra-Signal dazu führen, daß es nicht mehr ausgewertet und keine Verbindung hergestellt werden kann. Tetra-Funkgeräte sind jedoch mit einer automatischen Frequenzkorrektur (AFC) ausgestattet, die die Mittenfrequenz des Funkgerätesenders der der Basisstation anpaßt; dies funktioniert mit den meisten Funkgeräten bis zu einer Ablage von

1 kHz. Da die AFC also eine außerordentlich wichtige Rolle spielt, gehört die Prüfung dieser Funktion ebenfalls auf die Liste zu prüfender Kriterien.

### Modulationsmessungen

Auch die Messung der Modulationsqualität wird zukünftig wesentlich komplexer. In der Welt des analogen BOS-Funks war das wesentliche Kriterium dazu der Modulationshub; bei einer Abweichung drohte hier entweder Verzerrung oder ein zu leises Signal. Bei der für Tetra gewählten Modulationsart π/4-DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying) wird die Sprachinformation nicht kontinuierlich mit dem Frequenzhub übertragen, sondern digitalisiert und als Bitfolge codiert. Der Nutzträger des Tetra-Signals wird in Schritten phasenmoduliert, wobei ein Modulationsschritt („Symbol“) jeweils zwei Bit überträgt. Die Tabelle zeigt die erlaubten Phasensprünge und Bild 2 das charakteristische Bild des Konstellationsdiagramms, das den Phasenverlauf und somit die Art und Weise, wie über DQPSK Informationen übertragen werden, in einem kartesischen Koordinatensystem darstellt. Die beiden Achsen markieren dabei die komplexe Ebene, die Richtung des Vektors die Phase und die Länge des Vektors die Sendeleistung. Dieses Bild verrät schon bei kurzer Betrachtung viel über die Modulationsqualität: Typische Probleme sind hier ein „Pumpen“ der kreisförmigen Struktur, die dann eher eiförmig erscheint (Bild 3), oder ein Verwischen der einzelnen Entscheidungspunkte des Modulationsvektors über die Kreisbahn. Die Sollwertabweichung selbst ergibt wiederum einen (Fehler-)Vektor, dessen Betrag als Error Vector Magnitude den eigentlichen zahlenmäßigen Meßwert für die Modulationsqualität ergibt. Keinesfalls darf im Konstellationsdiagramm ein Phasenverlauf auftauchen, der durch den Ursprung des Koordinatensystems verläuft. Dies würde nämlich bedeuten, daß die Sendeleistung bis auf Null zurückgefahren wird, was bei dieser Modulationsart grundsätzlich ausgeschlossen ist und einen der Vorteile dieser Technologie

ausmacht. Der Kreismittelpunkt muß ähnlich der Darstellung eines Auges frei bleiben.

### Empfängermessungen

Auch bei den Empfängermessungen läßt sich ein Vergleich zum bisherigen Meßverfahren für die Ermittlung der Empfängerempfindlichkeit im analogen Funk anstellen. Während dort ein von einem Meßsender erzeugtes Prüf-signal so lange verringert wird, bis ein für die Sprachübertragung minimales Signal-Rausch-Verhältnis (SINAD oder S/N) erreicht ist, nutzt man bei der Ermittlung der Empfindlichkeit digitaler Empfänger zur Bestimmung der Empfindlichkeitsschwelle die Bitfehlerrate. Auch hier wird ein Signalgenerator genutzt, der mit einer nach Tetra-Norm festgelegten Bitfolge (T1-Prüf-signal) moduliert und dessen HF-Pegel langsam und kontinuierlich gesenkt wird. Die Bitfehlerrate steigt, anders als im analogen Funk, schlagartig an, wodurch sich die Bedeutung der Fehlerkorrektur im Tetra-Empfänger zeigt:

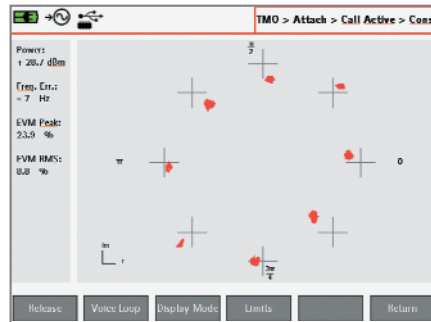


Bild 3: Verzerrtes Konstellationsdiagramm; der Einheitskreis wird zum „Ei“

Ist der Empfangspegel zu gering, kann keine weitere Decodierung mehr erfolgen. Gängige Tetra-Funkgeräte sind mit einer dynamischen Empfindlichkeit von ca. -103 dBm (statisch -112 dBm) ohnehin äußerst empfindlich.

Leider halten sich nicht alle Funkgerätehersteller an das normierte Prüf-signal, deshalb hat sich mit Paging Sensitivity ein zusätzliches Testverfahren durchgesetzt. Die Messung der Bitfehlerrate wird hierbei ersetzt durch eine wiederholte Aufforderung an das Funkgerät, sich neu zu regi-

strieren. Der HF-Pegel, bei dem das Funkgerät letztmalig antwortet, gilt als Empfindlichkeitsschwelle. Diese Methode ist geringfügig ungenauer als der Bitfehlerratest, funktioniert aber herstellerunabhängig mit allen Geräten. Die hohe Empfindlichkeit legt auch die Verwendung einer abgeschirmten Umgebung bei der Ermittlung der Geräteempfindlichkeit nahe. Hierfür bietet die Industrie kompakte Testkammern (Shield Box) an, die über eine Schirmung von mindestens 80 dB verfügen sollten, um bei der Empfindlichkeitsmessung zum einen Einflüsse von Funknetzen aus der Umgebung und zum anderen die Störung dieser Funkdienste durch das – wegen der Open Loop Power Control mit maximaler Leistung sendende – Funkgerät zu vermeiden. Innerhalb dieser Testkammern können auch Antennenkoppler zum Einsatz kommen, die die Handhabung vereinfachen und eine direkte Ankopplung der Funkgeräte an das Meßgerät über Spezialstecker überflüssig machen (Bild 4).

Fortsetzung auf Seite 19

Fortsetzung von Seite 17

### Was ändert sich sonst noch?

Für die Überprüfung von Funkgeräten gibt es weitere Festlegungen in der Tetra-Norm – wie etwa Prüftöne zur Ermittlung der Übertragungsqualität oder verschiedene Prüfschleifen. Auch hier ist leider festzustellen, daß die Vorgaben der Norm nicht immer von den Geräteherstellern umgesetzt werden. Das einfachste und schnellste Verfahren zur Beurteilung der Übertragungsqualität ist eine Sprachschleife im Meßgerät, so daß mit diesem Ende-zu-Ende-Test auch Mikrofon und Lautsprecher des Funkgerätes mitgeprüft werden: Die in das Mikrofon gesprochenen Worte werden mit kurzer Verzögerung am Funkgerätelautsprecher wiedergegeben. Natürlich muß hierzu zunächst ein Duplex-Ruf aufgebaut werden, um die bidirektionale Kommunikation sicherzustellen.

Generell problematisch ist bei der Prüfung von Tetra-Endgeräten die eingesetzte Air Interface Encryption nach



Bild 4: Tetra-Testkammer mit Antennenkoppler

(Fotos: Willtek)

TEA 1 bis 4. Schließlich werden hierbei die Nutzdaten und Signalisierung auf der Luftschnittstelle verschlüsselt, so daß ein Meßgerät, ohne Schlüssel und Algorithmen zu kennen, keine Verbindung aufbauen kann. Tetra-Funkgeräte können also zunächst nur im unverschlüsselten Clear-Modus getestet werden, sollten also auf mindestens einem Kanal unverschlüsselt betrieben werden können. Abhilfe wäre nur möglich, wenn Schlüssel und Algorithmen auch in jeden Funkgerätestester gespeichert wären, was derzeit nur schwer vorstellbar ist und der Sicherheitsphilosophie von Tetra nicht entspräche.

Problemlos testen lassen sich Geräte mit Ende-zu-Ende-Verschlüsselung der Nutzdaten, da hier die Signalisierung unverschlüsselt übertragen wird. Allerdings dürfte es eine Seltenheit sein, Geräte anzutreffen, die nicht noch zusätzlich nach TEA verschlüsselt sind.

Im Reparaturfall, in erster Linie beim Austausch von Komponenten, müssen Sender und Empfänger häufig neu abgeglichen werden. Dazu können Tetra-Funkmeßplätze auch als präzise Signalgeneratoren und -analytoren verwendet werden, ohne daß sich die Funkgeräte einbuchen und eine Verbindung hergestellt wird. Ganz ähnlich funktionieren Messungen an Tetra-Basisstationen – auch sie finden nicht im normalen Netzbetrieb statt, sondern in einem speziellen Servicemodus, in dem die BS gestartet wird, bevor Sender und Empfänger getestet werden. Beherrscht der MS-Tester die umgekehrte Frequenzlage – also wie ein Funkgerät Senden im Unterband, Empfang im Oberband –, können damit auch die meisten Messungen an der BS vorgenommen werden. (we)