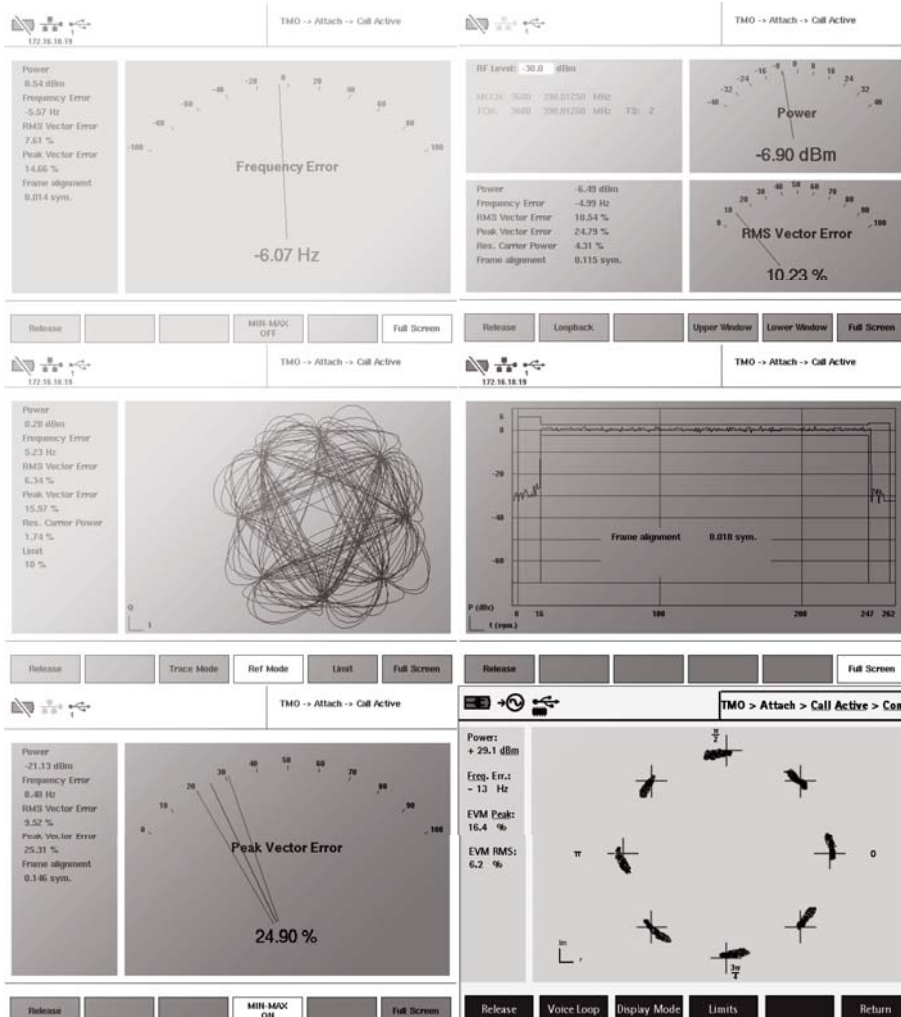


## Was ändert sich für die Funkwerkstatt beim Umstieg von analog auf digital? Wichtige Messungen an TETRA-Endgeräten



boosting wireless efficiency

Polizisten, Feuerwehrleute, Rettungsassistenten und andere Nutzer von BOS-Funkdiensten stehen vor umwälzenden Neuerungen: Die Einführung eines Digitalfunksystems nach der europäischen 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. Welche Messungen und Kriterien bestimmen in Zukunft darüber, ob ein Funkgerät ordnungsgemäß funktioniert?

## Voraussetzungen

Die Definition der TETRA-Luftschnittstelle, also die Beschreibung der zu verwendenden Funktechnik, wurde durch ETSI in der europäischen Norm EN 300 392 vorgegeben. Die EN 300 394 gehört zur gleichen Normenfamilie und stellt die Prüfvorschrift für aufwändige Abnahmetests an neu entwickelten Funkgeräten und Basisstationen dar – Prüfanweisungen für die Geräte-Reparatur 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 (Abb. 1) eine Basisstation simulieren und mit dem Funkgerät eine Registrierung einleiten, damit dieses 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 auf einem Kanal an der oberen

und unteren Bandgrenze und in der Bandmitte getestet werden.



Abbildung 1: Ein Messplatz für TETRA-Funkgeräte

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 Geräteklasse und vorhandene Funktionen wie aktivierte Verschlüsselung und die maximal mögliche Sendeleistung. Auch die im Funkgerät aktiven Rufgruppen werden beim Netz – in diesem Falle 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 der funktechnischen Parameter zu starten, die ein dauerndes Senden des Funkgerätes bedingt.

## Sendermessungen

Ist ein Duplexruf aufgebaut, befindet sich das Funkgerät direkt im Sendebetrieb, 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 Zeitschlitzten 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 Zeitschlitzten. 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 graphisch 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.

Die Sendeleistung ist in festgelegten Schritten einstellbar. Diese werden von TETRA-Funkgeräten im Rahmen 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 100 Hz beim digitalen TETRA-Signal dazu führen, dass dieses 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 Basisstation anpasst, dies funktioniert mit den meisten Funkgeräten bis zu einer Ablage von einem Kilohertz. 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  $\pi/4$ -DQPSK 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.

B(2k-1)	B(2k)	D $\phi$ (k)
1	1	$-3\pi/4$
0	1	$+3\pi/4$
0	0	$+\pi/4$
1	0	$-\pi/4$

Tabelle 1: Erlaubte Phasensprünge bei  $\pi/4$ -DQPSK (Quelle: EN 300 392-2)

Tabelle 1 zeigt die erlaubten Phasensprünge und Abb. 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 (Abb. 3), oder ein Verwischen der einzelnen Entscheidungspunkte des Modulationsvektors über die Kreisbahn (Abb. 4). Die Sollwertabweichung selbst ergibt wiederum einen (Fehler-) Vektor (Abb. 5), 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.

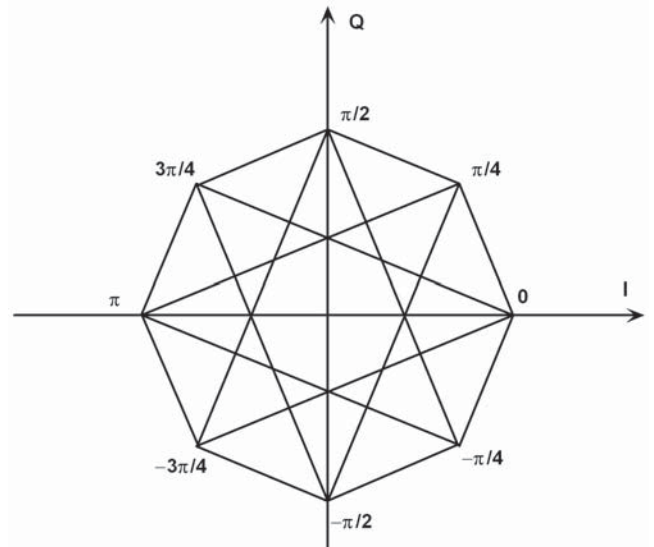


Abbildung 2: Das Konstellationsdiagramm ergibt sich aus den erlaubten Phasensprünge

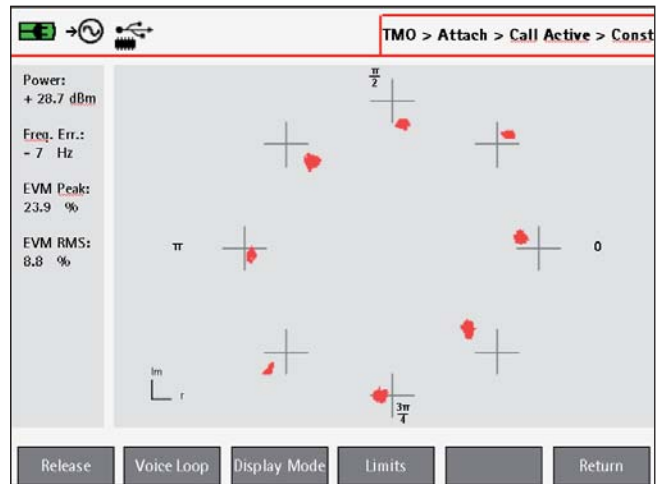


Abbildung 3: Verzerrtes Konstellationsdiagramm, der Einheitskreis wird zum „Ei“

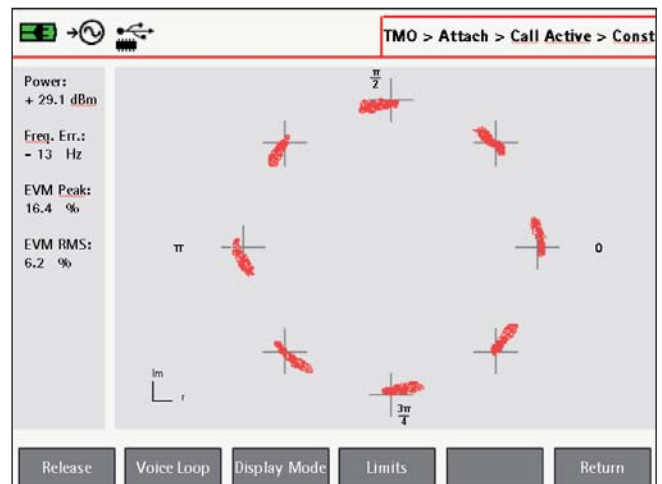


Abbildung 4: Durch Jitter verschieben sich die Entscheidungspunkte in diesem Konstellationsdiagramm

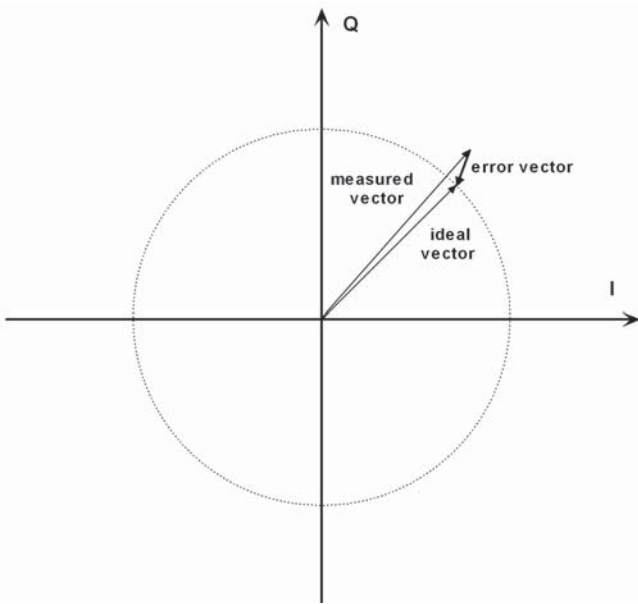


Abbildung 5: Ermittlung des Fehlervektors (EVM)

## 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 Prüfsignal so lange verringert wird, bis ein für die Sprachübertragung minimales Signal-Rauschverhältnis (S/N oder SINAD) erreicht ist, nutzt man bei der Ermittlung der Empfindlichkeit digitaler Empfänger die **Bitfehlerrate** zur Bestimmung der Empfindlichkeitsschwelle. Auch hier wird ein Signalgenerator genutzt, der mit einer nach TETRA-Norm festgelegten Bitfolge (T1-Prüfsignal) moduliert wird 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: 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 Prüfsignal, 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 registrieren. Der HF-Pegel, bei dem das Funkgerät letztmalig antwortet, gilt als Empfindlichkeitsschwelle. Diese Methode ist geringfügig ungenauer als der Bitfehlerraten test, 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 jedoch 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 (Abb. 6).



Abbildung 6: TETRA-Testkammer mit Antennenkoppler

## Was ändert sich sonst?

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 Funkgeräte-Lautsprecher 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 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-Mode getestet werden, sollten also auf mindestens einem Kanal unverschlüsselt betrieben werden können. Abhilfe wäre nur möglich, wenn Schlüssel und Algorithmen auch in jeden Funkgerätestester eingespeichert 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.

## Spezialfälle

Im Reparaturfall, in erster Linie beim Austausch von Komponenten, müssen Sender und Empfänger häufig neu abgeglichen werden. Zu diesem Zweck können TETRA-Funkmessplätze auch als präzise Signalgeneratoren und -analysatoren verwendet werden, ohne dass die Funkgeräte sich einbuchen und ohne dass eine Verbindung hergestellt wird. Ganz ähnlich funktionieren auch Messungen an TETRA-Basisstationen, auch diese 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 gemacht werden.

## Ausblick

Funkwerkstätten der BOS und freie Betriebe werden sich mit leistungsfähiger Messtechnik schnell und sicher auf die neuen Anforderungen einstellen können. Automatische Messabläufe, mit deren Hilfe Einsatzkräfte ihre Funkgeräte sogar selbst überprüfen können, und Managementsysteme für Endgeräteprogrammierung helfen, auch bei hohen Stückzahlen den Überblick zu behalten und den Gerätestatus ordentlich und nachhaltig zu dokumentieren. Schließlich steht TETRA II schon in den Startlöchern und läutet mit OFDM-Technologie die nächste Revolution an der Luftschnittstelle ein!

Lesen Sie mehr über TETRA unter

[www.willtek.de/tetra](http://www.willtek.de/tetra)

[www.willtek.de/technologies/tetra](http://www.willtek.de/technologies/tetra)

Willtek Communications GmbH  
85737 Ismaning  
Germany  
Tel: +49 (0) 89 996 41-0  
Fax: +49 (0) 89 996 41-440  
info@willtek.com

Willtek Communications UK  
Cheadle Hulme  
United Kingdom  
Tel: +44 (0) 161 486 3353  
Fax: +44 (0) 161 486 3354  
willtek.uk@willtek.com

Willtek Communications SARL  
Roissy  
France  
Tel: +33 (0) 1 72 02 30 30  
Fax: +33 (0) 1 49 38 01 06  
willtek.fr@willtek.com

Willtek Communications Inc.  
Parsippany  
USA  
Tel: +1 973 386 9696  
Fax: +1 973 386 9191  
willtek.cala@willtek.com  
sales.us@willtek.com

Willtek Communications  
Singapore  
Asia Pacific  
Tel: +65 6827 9670  
Fax: +65 6827 9601  
willtek.ap@willtek.com

Willtek Communications Ltd.  
Shanghai  
China  
Tel: +86 21 5835 8039  
Fax: +86 21 5835 5238  
willtek.cn@willtek.com

---

© Copyright 2008  
Willtek Communications GmbH.  
Alle Rechte vorbehalten.  
Willtek Communications,  
Willtek und das Willtek-Logo  
sind Warenzeichen von Willtek  
Communications GmbH.  
Alle anderen Warenzeichen und  
eingetragene Warenzeichen sind  
Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.