

# TETRA und DMR

## Eigener Digitalfunk für Behörden und Betriebe

Dr.-Ing. Martin H. Virnich

### 1 Bündelfunksysteme

Im Gegensatz zum öffentlichen Mobilfunk haben zu Bündelfunksystemen nur geschlossene Benutzergruppen Zugang. Typischerweise sind dies:

- Gewerbliche Unternehmen (Betriebsfunk zur firmeninternen Kommunikation, z.B. für kleine, mittlere und große Industriebetriebe, Energieversorgungsunternehmen und Flughäfen bis hin zu Kleinunternehmen und Handwerkern)
- BOS (**B**ehörden und **O**rganisationen mit **S**icherheitsaufgaben, so genannte „Blaulicht“-Behörden): Polizei, Bundesgrenzschutz, Bundeskriminalamt, Innenministerium, Zoll, Feuerwehr, Katastrophenschutz, Technisches Hilfswerk, Rettungshubschrauber, Rettungsdienste wie Deutsches Rotes Kreuz, Arbeiter-Samariter-Bund, Malteser-Hilfsdienst, Johanniter Unfall-Hilfe.

Bündelfunknetze dienen der Kommunikation innerhalb geschlossener Benutzergruppen. Aus einem „Bündel“ festgelegter Kommunikationskanäle teilt das Netzmanagement den Gesprächsteilnehmern auf Anforderung einen bestimmten Kanal so lange mit, wie dieser benötigt wird.

Bündelfunk hat gegenüber dem öffentlichen Mobilfunk z.B. folgende Besonderheiten und Vorteile:

- Es können bestimmte Teilnehmergruppen oder auch alle Teilnehmer gemeinsam gleichzeitig angesprochen werden (Gruppenruf/Rundspruch)
- Notruf
- Die Verbindung wird sofort, ohne – ggf. länger dauernden – Wählvorgang hergestellt
- Die Endgeräte der Benutzer können im Nahbereich häufig auch ohne zentrale Basisstation direkt miteinander kommunizieren.

Zur Zeit vollzieht sich – wie in vielen anderen technischen Bereichen auch – ein Übergang von den alten, analogen Systemen zu den neuen, digitalen. Neben der Sprachübertragung wird dabei die Möglichkeit zur Übertragung von Daten immer wichtiger. Die wesentlichen Vertreter der Bündelfunksysteme sind:

- Die alten, analogen Systeme, die typischerweise mit Frequenzmodulation (FM) arbeiten. Dies ist die gleich Modulationsart, wie sie z.B. beim UKW-Tonrundfunk und bei den Schnurlostelefonen des Standards CT1+ zum Einsatz kommt – ein gleichmäßiges Signal mit konstanter Amplitude, ohne jegliche periodischen oder gepulsten Eigenschaften. Gesendet wird nur während der Dauer des Funkspruchs.
- TETRA (Terrestrial Trunked Radio). Als europaweit einheitliches System (gemäß ETSI<sup>1</sup>-Standard) befindet sich TETRA international bereits seit mehreren Jahren in der Einführungsphase. Während es beispielsweise in Großbritannien bereits seit mehreren Jahren weit verbreitet ist, gestaltet sich die Einführung in Deutschland wesentlich langsamer und schleppender als ursprünglich geplant. TETRA wird zwar auch von etlichen, meist größeren Firmen für den Betriebsfunk eingesetzt, soll seine Hauptanwendung aber als neues digitales Funk-system der BOS finden.

---

<sup>1</sup> European Telecommunications Standards Institute, Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen

- Im Gegensatz zum international standardisierten TETRA ist das Konkurrenzsystem TETRA-POL (Trans-European Trunked Radio for Police) ein proprietäres System der Firma Motorola. Es ist seit 1992 im Einsatz, konnte sich aber gerade für die BOS nicht gegen TETRA durchsetzen.
- DMR (Digital Mobile Radio) stellt eine jüngere Entwicklung von Motorola dar, die erst in den letzten Jahren zur Anwendungsreife gelangte und – im Gegensatz zu TETRA-POL – international genormt ist (ETSI-Standard TS 102 361). Es können sowohl analoge als auch digitale Endgeräte parallel in einem System betrieben werden. Zielgruppe sind „kleinere“ Kunden als bei TETRA, also hauptsächlich mittlere und kleine Betriebe sowie kommunale Behörden.
- PMR (Professional Mobile Radio) stellt die kleinste Ausführung der Systeme dar und kommt hauptsächlich für Kleinunternehmen und Einzelanwendungen sowie im privaten Bereich in Betracht. Es gibt auch hier neben der analogen eine digitale Variante mit fließendem Übergang zu DMR (Digitales PMR = DMR).

Als wichtigste Vertreter der Bündelfunksysteme soll im Folgenden auf TETRA und DMR näher eingegangen werden. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Hauptzielgruppen der beiden Systeme und wesentliche Hauptmerkmale aus Sicht des kommerziellen Einsatzes.

ANFORDERUNG	MÄRKTE	STANDARD
Sehr hohe Anforderungen	BOS ÖPNV - U-Bahn Flughäfen	<b>TETRA</b>
Hohe Anforderungen	Kommunen Energieversorger Autobahnfunk Straßenmeistereien	<b>TETRA/DMR</b>
Mittlere Anforderungen	Taxi /Kurierdienste Baugewerbe / Fabriken Sicherheitsdienste	<b>DMR</b>
Einfache Anforderungen	Hotelgewerbe / Profisport Lagerlogistik / Handwerk Einzelhandel / Forst	<b>TDMA/FDMA</b> <b>Betriebsfunk</b>
Konsumerbereich	Landwirtschaft Familie /Sport Vergnügen	<b>Analog</b> <b>Lizenzfrei</b> <b>PMR 149/446</b>

*Note: In the original image, 'Raffinerien' and 'Petrochemie' are highlighted in blue boxes within the 'Hohe Anforderungen' market category.*

Abb. 1: Zielgruppen von TETRA, DMR und PMR  
(Quelle: B&E GmbH Nachrichtentechnik, Nürnberg )

Verfügbare Kommunikationssysteme	GSM (Handy)	GSM Profifunk	Analoger Bundesfunk	TETRA Bundesfunk	Digitalfunk DMR	Analogfunk PMR
Typische Anwender der Systeme	Jedermann	Industrie Werkenschutz Baustellen	Kurzielenste Fahrdienste (nur noch regional verfügbar)	BOS Flughäfen Behörden Großindustrie EVU's	Behörden Industrie Firmen Handwerk EVU's	Schiffsfunk Flugfunk Behörden Industrie und Handwerk EVU's
Kosten für Netzaufbau	Keine	Keine	Keine	Sehr hoch	Mittel	Gering
Kosten für Nutzung	Mittel	Hoch	Mittel	Mittel	Gering	Gering
Netzverfügbarkeit bei Katastrophen	Gering	Gering	Mittel	Hoch	Hoch	Hoch
Zuverlässigkeit der Geräte	Niedrig	Mittel	Mittel	Hoch	Hoch	Hoch
Schutzart nach IP	Nein	Teilweise	Nein	Ja	Ja	Ja
Technische Anwendung z.B. für Einbau in Spezialfahrzeuge	Gering	Mittel	Gering	Hoch	Hoch	Hoch
Mobilgeräte Handfunkgeräte	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Logische Bedienbarkeit	Schlecht	Mittel	Mittel	Gut	Gut	Gut
Basistationen Repeater möglich	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden	Ja	Ja	Ja
Eigenes Netzwerk möglich	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
Häufigkeit des Typenwechsels	Hoch	Mittel	Gering	Gering	Gering	Gering
Professionalität in der Anwendung	Gering	Mittel	Gering	Hoch	Hoch	Hoch
Eigene Wartung und Netzkontrolle möglich	Nein	Nein	Nein	Teilweise	Ja	Ja
Kostenpflichtiger Vertrag	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
Anwendung für den Betriebsfunk für Behörden	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja

Fachtagung 2008  
Moderner Betriebsfunk bei Behörden



Abb. 2: Kommerzielle Merkmale von TETRA und DMR im Vergleich  
(Quelle: B&E GmbH Nachrichtentechnik, Nürnberg )

## 2 TETRA (Terrestrial Trunked Radio)

### 2.1 Einführung von TETRA für die BOS

Die Einführung von TETRA für die BOS ist in anderen europäischen Staaten schon viel weiter fortgeschritten als in Deutschland, z.B. in Großbritannien. In Deutschland gestaltet sich die Einführung wesentlich langsamer als ursprünglich geplant.

Gründe für die Ablösung der bestehenden analogen BOS-Funkausrüstung und ursprünglicher „Roll Out“-Plan sind in den folgenden beiden Abbildungen wiedergegeben.

## Ablösung der bestehenden BOS Funkausrüstung

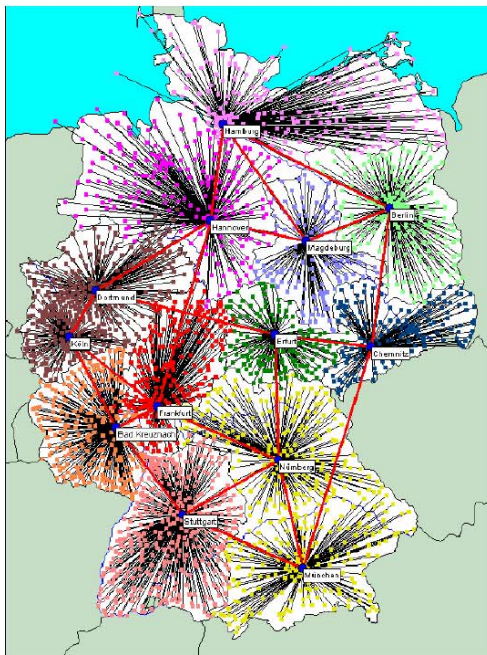


- Funkgeräte und Einsatzmittel basieren auf einer 30 Jahre alten Technik
- Keine Verschlüsselung – der Funkverkehr ist für jedermann abhörbar
- Nur Sprechfunk – keine Datenübertragung möglich
- Geringe Effizienz – schlechte Sprachqualität, mangelhafte Funkversorgung, kein Telephoniemodus
- Verfügbarkeit der analogen Technik nicht mehr gewährleistet
- Hohe Wartungskosten
- Kriminelle sind besser ausgestattet als die BOS

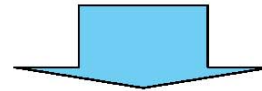


(Quelle: [1])

## Einführung des BOS Digitalfunks



- Diskussionen seit 1996
- Formaler Beschluss von Bund und Ländern in 2001
- Abschluss Vergabeverfahren in 2006
  
- Netzaufbau voraussichtlich von 2007 bis 2011
- Einbindung von ca. 700 Einsatzleitstellen



- Verbesserung der Effizienz der BOS
- Besserer Schutz der Einsatzkräfte
- Bessere „Dienstleistung“ für den Bürger
- Entlastung der öffentlichen Haushalte
- Reduzierung der Anzahl Funkstandorte
  - Beispiel Pilotnetz Aachen  
12 Digitale Basisstationen ersetzen 30 analoge Basisstationen

(Quelle [1])

## 2.2 TETRA-Technik

TETRA wurde in Anlehnung an den GSM-Mobilfunkstandard entwickelt. Es arbeitet daher ebenfalls mit TDMA (Time Division Multiple Access, einem Zeitschlitzverfahren, das zur periodischen Pulsung des gesendeten Signals führt) und zwar mit vier Zeitschlitzten (GSM verwendet 8 Zeitschlitzte). TETRA arbeitet in mehreren, jeweils 20 MHz breiten Bändern im Frequenzbereich 380 - 470 MHz. Im Zuge des weiteren Ausbaus sind auch Frequenzen im Bereich 870 - 876 MHz und 915 - 921 MHz für TETRA vorgesehen. Dieses kommerzielle Mobilfunksystem arbeitet mit einer Vielzahl von eigenen, permanent sendenden, vernetzten Basisstationen, aber auch direkte Kommunikation zwischen Mobilteilen ist möglich, wenn keine lokale Basisstation zur Verfügung steht.

Der Organisationskanal einer Basisstation sendet ständig mit voller Leistung in allen vier Zeitschlitzten.

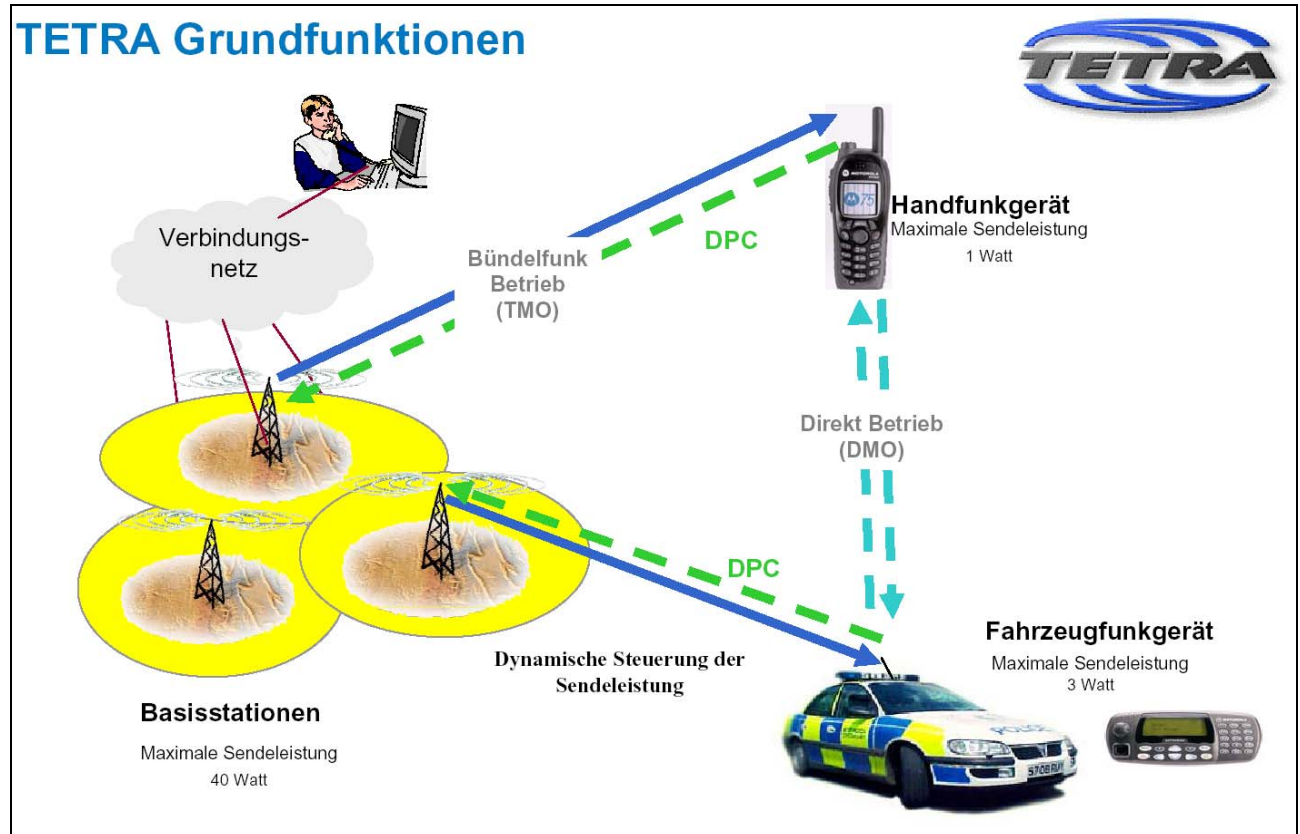
Im Gegensatz zum international standardisierten TETRA arbeitet das Konkurrenzsystem TETRAPOL (Trans-European Trunked Radio for Police), ein proprietäres System der Firma Motorola, ohne TDMA; es ist seit 1992 für Zwecke des Betriebsfunks bei Unternehmen im Einsatz, konnte sich aber gerade für die BOS nicht gegen TETRA durchsetzen.

### Technische Daten

Frequenzbereich:	3 jeweils 20 MHz breite Bänder im Frequenzbereich 380 - 470 MHz; weitere Bänder vorgesehen bei 870 - 876 MHz und 915 - 921 MHz
Kanalbandbreite:	25 kHz
Zugriffsverfahren:	TDMA mit 4 Zeitschlitzten (Time Division Multiple Access, Zeitmultiplex); Pulsfrequenz Mobilteil 17,6 Hz; Pulsfrequenz Basisstation 70,4 Hz mit 17,6Hz-Komponente

Sendeleistung:            Basisstation bis 40 W  
                              Fahrzeugfunkgerät 3 W  
                              Handfunkgerät 1 W

TETRA ist ein zelluläres System, mit dem große Areale über mehrere Zellen abgedeckt werden können. Hier verkehren die Mobilteile im Bündelfunkbetrieb (TMO) über die Basisstation miteinander, wie im öffentlichen Mobilfunk (GSM, UMTS). In Gegenden, wo keine Basisstation zur Verfügung steht, können Fahrzeugfunkgeräte und Handfunkgeräte auch direkt untereinander kommunizieren (DMO).



(Quelle: [1])

### 2.3 TEDS: Höhere Datenraten mit TETRA

Der TETRA-Standard wird – ähnlich wie die Systeme des öffentlichen Mobilfunks GSM und UMTS – immer leistungsfähiger. Um den ständig steigenden Anforderungen zur Übertragung großer Datenmengen zu genügen, wurde der **TETRA Enhanced Data Service (TEDS)** entwickelt.

Die höheren Datenraten von TEDS werden durch zwei Maßnahmen erreicht. Zum einen setzt man höherwertige Modulationsverfahren ein (**Quadratur-Amplitudenmodulation QAM**), so dass im gleichen Frequenzspektrum eine höhere Bitrate erzielt wird. Zum anderen kann die Bandbreite eines Frequenzkanals, die bei TETRA ursprünglich 25 kHz beträgt, auf 50, 100 oder sogar 150 kHz erweitert werden, um noch höhere Datenübertragungsraten zu erreichen.

TEDS liefert die Grundlage für die umfassende Nutzung von Datendiensten in TETRA, weil hohe Datenübertragungsraten auch sicher stellen, dass die Belegungszeit der Kanäle pro Nutzer kurz ist und entsprechend ausreichende Kapazitäten für eine sehr große Zahl von Nutzern zur Verfügung stehen.

TEDS ist rückwärtskompatibel zum aktuellen TETRA-Standard. Alle mit TETRA verfügbaren Dienste stehen auch in zukünftigen TETRA-Netzen nach dem TEDS-Standard zur Verfügung.

### Technische Daten

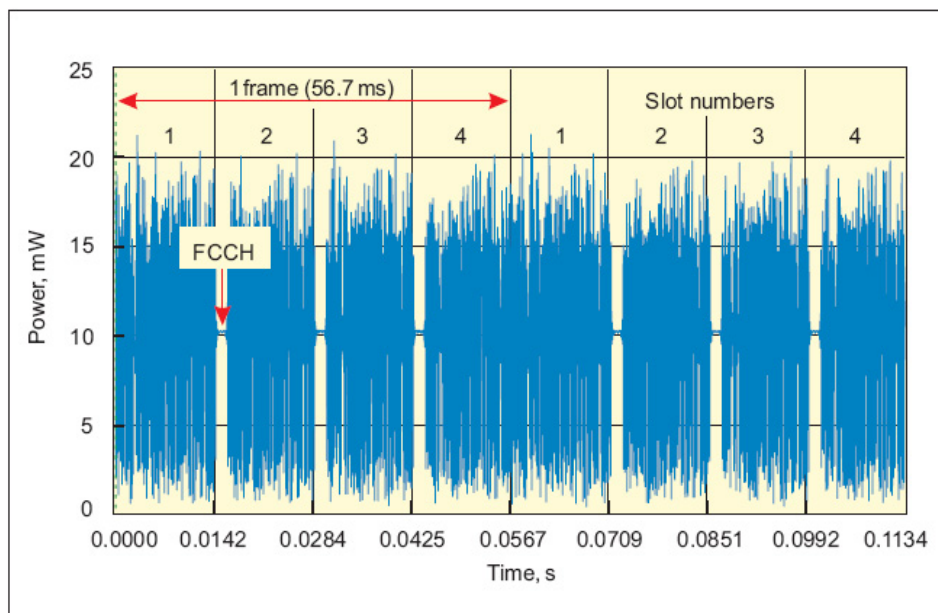
Kanalbandbreite: 25 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 150 kHz  
 Modulation: 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM je nach Qualität der Übertragungsstrecke  
 (Störungsfreiheit und Signalstärke)

### 2.4 Pulseffekte bei TETRA

„Während bei GSM aufgrund der dort verwendeten GMSK<sup>2</sup>-Modulation die Amplitude des ausgesendeten Signals innerhalb eines Zeitschlitzes (auch „Burst“ genannt) konstant ist, kommt es bei TETRA zu deutlichen Schwankungen innerhalb eines Bursts, die in der hier verwendeten DQPSK<sup>3</sup>-Modulation begründet sind. Innerhalb eines Bursts schwankt die Amplitude mit einer Frequenz von ca. 18 kHz um  $\pm 85\%$  um die konstante Leistung, die zwischen den Bursts in den so genannten Schutzintervallen ausgesendet wird (siehe folgende Abbildung). Die Dauer eines Schutzintervalls beträgt 1,7 ms. Die Dauer eines TETRA-Rahmens beträgt 56,7 ms; hieraus resultiert bei vier Zeitschlitz pro Rahmen eine Zeitschlitz-Dauer von 14,175 ms und eine Zeitschlitz-Wiederholfrequenz von 70,4 Hz. Daher ist im Signal einer TETRA-Basisstation die Pulsfrequenz von 70,4 Hz dominant.

Die Rahmenwiederholfrequenz ist hierbei  $17,6\text{ Hz} = 70,4 / 4\text{ Hz}$ . Mit derselben Frequenz von 17,6 Hz pulsen TETRA-Mobilteile und mobile Repeater, die jeweils nur in einem Zeitschlitz eines Rahmens senden.

Bei TETRA-Basisstationen dagegen treten die 17,6 Hz – die hier nicht mit der Nutzung nur einzelner Zeitschlitz zusammenhängen, da alle 4 Zeitschlitz immer gefüllt sind – aus folgendem Grund auf (siehe folgende Abbildung).



**Abb.:** Leistungsvariationen im modulierten Signal einer TETRA-Basisstation über zwei komplette Rahmen; deutlich sichtbar sind die Abstände zwischen den Bursts (Pfeil „FCCH“, Schutzintervalle), innerhalb derer die Sendeleistung für die Dauer von 1,7 ms auf einen konstanten Wert reduziert wird.

Frame: Rahmen; Slot numbers: Zeitschlitz-Nummern; Power: Sendeleistung (Quelle: [2], S. 68)

<sup>2</sup> GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying, Art der Phasenmodulation, bei der die Signalamplitude konstant bleibt

<sup>3</sup> DQPSK: Differential Quadrature Phase Shift Keying, Art der Phasenmodulation, bei der sich auch die Signalamplitude ändert

Die ersten drei Zeitschlitzte eines Rahmens sind von den folgenden durch das Schutzintervall von 1,7 ms Dauer getrennt, während dessen die Sendeleistung auf einen konstanten Wert reduziert wird. Zwischen dem letzten (vierten) Zeitschlitz eines Rahmens und dem ersten Zeitschlitz des nächsten Rahmens fehlt aber dieses Schutzintervall. Daher umfasst jeder dritte Burst zwei Zeitschlitzte und ist damit doppelt so lang wie die zwei dazwischenliegenden Bursts. Dieser Burst mit zweifacher Zeitschlitzlänge wird 17,6 Mal pro Sekunde wiederholt, wodurch bei dem ausgesendeten Signal der TETRA-Basisstation ebenfalls eine Pulskomponente von 17,6 Hz zustande kommt.“ (Quelle: [3])

## 2.5 Berichte über gesundheitliche Auswirkungen von TETRA

Großbritannien ist das Land mit der längsten TETRA-„Erfahrung“. Gerade im Bereich der BOS, insbesondere der Polizei, wird hier immer wieder von – teils gravierenden – Gesundheitsproblemen berichtet.

Einer der bekanntesten Kritiker von TETRA ist Prof. (em). Dr. Gerard J. Hyland, ehemaliger Physikprofessor an der Universität Warwick, England. Er nennt in seinem Beitrag „Wie Immissionen von TETRA-Basisstationen die menschliche Gesundheit nachhaltig beeinflussen können“ [3] folgende typische Symptome bei Exposition durch TETRA-Basisstationen:

- Hautausschlag
- Nächtliche Halluzinationen
- Unangenehme Körpererwärmung (ohne Fieber)
- Schlafstörungen (bis zu 10 x pro Nacht aufwachen)
- Erschöpfung
- Stark beeinträchtigtes Immunsystem
- Nasenbluten
- Angst

(Quelle: [3], S. 200)

Andy Davidson, der Initiator der TETRA- und Mobilfunk-kritischen Initiative TETRAwatch, hat in seinem Vortrag „Erfahrungen mit TETRA-Bündelfunk in Großbritannien“ [4] auf der 5. EMV-Tagung des VDB e.V. 2005 eine Reihe von Fallbeispielen Betroffener – zu denen er selbst auch gehört – aufgeführt. Hieraus wird im Folgenden zitiert.

„In Großbritannien äußert sich die öffentliche Abneigung gegen das TETRA-System vorwiegend als Wut und weniger als Angst. Es werden eher negative Gesundheitsfolgen untermauert, als dass man sich über die Verschandelung der Landschaft durch die Sendemasten entrüstet. Es ist natürlich gut möglich, dass bei einigen Menschen die Angstmache anderer und Missverständnisse psychosomatische Symptome hervorgerufen haben können. Wo auch immer negative Reaktionen berichtet und/oder untersucht wurden, deckten sich die Symptome immer mit der charakteristischen Symptomatik von Elektrosensibilität oder **Elektromagnetischer Hypersensibilität (EHS)**, auch ‚Mikrowellensyndrom‘ genannt. Von diesen Berichten haben diejenigen mit Langzeit-Exposition sowohl durch Mobilteile als auch durch Basisstationen die auffälligen Häufungen von Motoneuron- und Krebserkrankungen dem TETRA-Bündelfunk zugeschrieben, dessen Auswirkungen durch das körpernahe Tragen des Mobilteils oder durch das Wohnen in höher exponierten Häusern mit großem Metallanteil noch verstärkt werden. Könnte an diesen Berichten etwas Wahres dran sein und könnte es gar einen Zusammenhang geben?“ ([4], S. 220)

### „Was TETRA-Nutzer sagen

In Großbritannien waren die Polizeibeamten von Lancashire die ersten Benutzer des TETRA-Airwave-Systems. Innerhalb von nur neun Monaten, nachdem der TETRA-Bündelfunk in Lancashire eingeführt worden war, häuften sich die Berichte über negative Gesundheitsfolgen derart, dass Steve Edward, Vorsitzender der Polizistenvereinigung der Stadt Lancashire, sich veranlasst sah einen Fragebogen an die Polizeibeamten zu verteilen, um Näheres darüber zu erfahren. Von



den 246 Fragebögen, die zurückkamen, berichten 173 über negative Gesundheitsfolgen, wie zum Beispiel:

- ‚Kopfschmerzen und Migräne ungefähr dreimal pro Woche. Bevor ich je ein TETRA-Mobilteil benutzt habe, hatte ich noch nie so schwerwiegende Kopfschmerzen oder Migräne.‘
- ‚Seitdem ich zu dieser Dienststelle zurückgekehrt bin, habe ich immer starke Halsschmerzen, die meistens schlimmer werden, wenn ich mit dem Polizeiwagen auf Patrouille bin.‘
- ‚Ich mache mir zunehmend Sorgen, dass die Benutzung des TETRA-Bündelfunks eine Irritation in meinem Hals hervorruft, so als ob ich einen kratzenden Husten hätte. Ich habe erst kürzlich angefangen dieses Mobilteil zu benutzen, und leider scheint mir nichts anderes übrig zu bleiben. Es ist sehr schwierig ganz genau zu erklären, was eigentlich das Problem ist, aber ich mache mir zunehmend Sorgen, dass ich dieses Mobilteil acht Stunden pro Tag benutzen muss. Es ist kein Trost, dass das Mobilteil an deiner Brusttasche angeklemt wird und die Antennenspitze dann genau auf die Höhe deiner Backenknochen reicht.‘
- ‚Ich leide täglich an Kopfschmerzen und Hitzewellen. Aber als ich für vier Monate nicht zur Arbeit ging, hatte ich keine Kopfschmerzen. Bis vor kurzem habe ich mich bester Gesundheit erfreut und hatte noch nie zuvor solche Symptome. Und der Mangel an Informationen zu den negativen Auswirkungen dieses Funksystems stärkt nun gar nicht mein Vertrauen in diese Technologie.‘

Nach der offiziellen Lesart sollen die Symptome auf den Stress zurückführbar sein, der mit der Einführung eines neuen Kommunikationssystems verbunden sei. Seither wurden zwei Fälle von Halskrebs bei den Polizisten in Lancashire diagnostiziert und drei Fälle (zwei davon mit tödlichem Verlauf) in Leicestershire, wo der TETRA-Bündelfunk kurz nach Lancashire eingeführt worden war. Hier stellt sich die Frage, ob doch ein Zusammenhang besteht, wenn ansonsten gesunde Menschen an einer so seltenen Krebsart wie Speiseröhrenkrebs erkranken, obgleich keine genetische Veranlagung und keine bekannten Lebensstilfaktoren wie Rauchen oder übermäßiger Alkoholgenuss vorliegen. Die Beschreibung eines der verstorbenen Polizeibeamten lautet folgendermaßen:

- ‚Neil hatte keinerlei Veranlagung für diese Krebsart, die für Raucher und diejenigen, die regelmäßig Alkohol trinken, ein viel größeres Risiko darstellt. Er litt auch nicht an Sodbrennen, das ebenfalls dafür bekannt ist dieses Krebsrisiko zu erhöhen. Offizielle Quellen bestätigen, dass Speiseröhrenkrebs meist bei Personen auftritt, die über sechzig Jahre alt sind, obgleich er auch bei Erwachsenen zwischen 45 und 75 auftreten kann.‘
- ‚Neil war 38 Jahre alt, als er starb.‘
- ‚Es gab jedoch ein Symptom, an dem Neil litt, und das waren heftige Kopfschmerzen, die quasi mit seiner Benutzung des TETRA-Mobilteils einsetzten, bevor bei ihm Krebs diagnostiziert wurde. Er selbst war davon überzeugt, dass sowohl die Kopfschmerzen als auch der Krebs, der ihn schließlich das Leben kostete, auf das Mobilteil zurückgeführt werden konnten, das er jeden Tag direkt auf der Brust trug, genau dort wo der Krebs sich dann manifestierte. Und das Mobilteil war über ein Kabel mit dem Hörer im Helm verbunden, den er immer aufhatte, wenn er auf Motorrad-Patrouille durch Leicester war.‘

Die Berichte der Polizeibeamten vermitteln uns mehrere Einsichten über die regelmäßige Benutzung von TETRA-Bündelfunk:

- ‚Es gibt (...) von uns, die in (...) stationiert sind, und (alle außer einem) leiden an Symptomen, die von Kopfschmerzen über Zahnschmerzen, Neuralgien bis hin zu hohem Blutdruck reichen, und es gibt sogar einen Fall von Halskrebs. Es war dieser Krebsfall, der das Fass zum Überlaufen brachte und weshalb wir uns heute weigern diese Funkgeräte in unseren Wagen und an Tatorten zu benutzen (wir setzen Metallpulver für die Abnahme von Fingerabdrücken ein). Wir sind eine Gruppe von Leuten, die ihre Arbeit lieben, und wir sind keine Unruhestifter, aber wir sind felsenfest davon überzeugt, dass diese Funkgeräte uns umbringen.‘
- ‚Auf einer Polizeistation reagierte das Dienstpersonal im höchsten Stockwerk innerhalb von einer Woche mit Nasenbluten und Kopfschmerzen, nachdem ein Sendemast auf dem Dach

des Gebäudes in Betrieb genommen war. Das waren Mitarbeiter, die nie zuvor derartige Probleme hatten.'

- ‚Ich arbeite im südlichen Stadtteil von Yorkshire und benutze das TETRA-System seit geraumer Zeit. Ich trage das Mobilteil auf meiner Schutzweste auf der linken Seite. Mir ist aufgefallen, dass – wenn ich von der Arbeit komme und mich umziehe –, dass genau an der Stelle auf der linken Brustseite, wo ich das Mobilteil trage, ein roter Punkt auf der Haut ist. Das macht mir Sorgen.‘
- ‚Ich empfehle die Mobilteile nicht am Körper zu tragen. Einige Polizeibeamten haben Aluminiumfolie zwischen das Mobilteil und ihre Brust gesteckt, und das scheint die Hautrötungen zu unterbinden. Auf jeden Fall sollte man sich über die ‚optimale‘ Funkhöhe von 1,6 m im Klaren sein, denn darunter funktioniert die Übertragung ohnehin nicht richtig, und wenn es sich irgendwie vermeiden lässt, sollte man mit dem Mobilteil nicht ‚in Deckung gehen‘. Stell das Mobilteil im Auto aus, und immer wenn es möglich ist, trage es nicht am Körper.‘
- ‚Kurz nachdem das TETRA-System eingeführt worden war, litten ich und eine beträchtliche Anzahl meiner Kollegen an negativen Gesundheitsfolgen wie z.B. Kopfschmerzen, Depressionen und Klingeln (Pulsieren) in den Ohren. Und das Leiden geht weiter. Als ich mit den Polizeibeamten von Staffordshire sprach, berichteten sie von genau denselben Symptomen, an denen viele ihrer Kollegen litten und weiterhin leiden. Diese Symptome setzten bereits nur wenige Wochen, nachdem der TETRA-Bündelfunk aktiviert worden war, ein.‘
- ‚Seitdem das TETRA-System zu Jahresbeginn aktiviert wurde, habe ich viel häufiger Kopfschmerzen gehabt als je zuvor; einmal hielten die Kopfschmerzen sogar zwei Tage lang an. Ich habe in der Vergangenheit ganz selten Kopfschmerzen gehabt. So zum Spaß habe ich gemeint, dass das neue Funkgerät mir ‚mein Hirn brät‘.‘
- Ein anderer Polizeibeamter machte folgende Aussage:  
‚In der Vergangenheit hat Motorola, der Hauptproduzent von Airwaves TETRA-Geräten, einen führenden Wissenschaftler beauftragt, die Gesundheitsfolgen von Mikrowellenfunksystemen zu untersuchen. Es wurde empfohlen, diese Frequenz nicht zu benutzen, da sie zu Kopfschmerzen, Krebs, dem Zusammenbrechen des Immunsystems und dergleichen führen könnte ... Kommt uns das nicht bekannt vor?! Da das nicht die Empfehlung war, die die Auftraggeber hören wollten, wurden ihm die Forschungsgelder entzogen und seine Empfehlung ignoriert. Die nächsten Wissenschaftler, die mit der Risikoabschätzung beauftragt wurden, kamen zu derselben Schlussfolgerung und erlitten dasselbe Schicksal. Der erste der erwähnten Wissenschaftler war Prof. Ross Adey, der auch an der Mikrowellenwaffentechnologie des US-amerikanischen Militärs mitgearbeitet hat.‘

Es ist interessant zu beachten, dass im Jahre 2001 Barrie Tower, ein Wissenschaftler und Ex-Militärexperte für Mikrowellentechnologie, in einem von der britischen Polizistenvereinigung in Auftrag gegebenen Spezialreport vorausgesagt hat, dass: ‚innerhalb kurzer Zeit, etwa zwischen 0 bis 2 Jahren, sich ungefähr 310 Polizeibeamte, die den TETRA-Bündelfunk benutzen, krank melden werden. Von diesen Betroffenen werden 30 auch in Zukunft mit Krankheiten Anlass zur Sorge geben, und in dieser letzteren Gruppe werden auch ein paar Krebsfälle auftreten.‘ ([4], S. 221-222)

### 3 DMR (Digital Mobile Radio)

Anwender des herkömmlichen analogen professionellen Mobilfunks (PMR) mieden bisher oft den Wechsel zum Digitalfunk, da für kleinere Unternehmen eine kostengünstige Alternative fehlte. Die Lücke zwischen preiswerten PMR-Produkten und dem „großen“ digitalen TETRA schließt jetzt DMR – Digital Mobile Radio.



DMR-Handfunkgerät  
Motorola DP 3600  
(Bild: Motorola)

Bei DMR handelt es sich um ein ziemlich junges System. Auf der Hannover Messe 2007 stellte der Hersteller Motorola seine ersten Geräte für diesen neuen Betriebsfunkstandard unter dem Produktnamen Mototrbo (sprich: Mototurbo) vor: Eine Sendeanlage mit Repeater, Fahrzeugfunkgeräte und Handgeräte (Handhelds).

Alle Geräte können sowohl im herkömmlichen Analog- als auch im digitalen DMR-Modus betrieben werden.

Die Mehrheit des angepeilten Kundenkreises betreibt in Eigenregie „einzellige“ Funkssysteme mit maximal ein paar Dutzend Teilnehmern, mit einer zentralen Basisstation, die ein abgegrenztes Gebiet versorgt (z.B. Betriebsgelände) und erforderlichenfalls mittels Repeater verstärkt wird.

Diese Klientel kommt als Betreiber eigener TETRA-Netze nicht in Betracht. Denn die Anschaffungskosten und der administrative Aufwand hierfür sind zu groß. Andererseits sind Vorteile von TETRA, wie großräumige, zelluläre Struktur und hohe Abhörsicherheit, für viele mittelständische Funk-Anwendern kaum von Bedeutung. Dies ist eine typische Anforderung z.B. für Taxiunternehmen in Großstädten und Ballungsgebieten, Speditions- und Logistikunternehmen, die über ein großräumiges „Arbeitsgebiet“ verfügen und daher ein zelluläres Netz wie TETRA benötigen. Der Aufbau zellulärer Netze auf Basis von DMR ist zwar prinzipiell möglich, doch werden die günstigen Kosten des einzelligen Systems durch die höhere Komplexität des Netzes und seiner Verwaltung zunichte gemacht.

Den „Umstieg von analog auf digital“ macht DMR den Anwendern leicht, da im gleichen System dank „software-defined-radio“ sowohl analoge als auch digitale Geräte parallel betrieben werden können.

Dabei ermöglicht das digitale TDMA-Verfahren (Time Division Multiple Access, Zeitschlitzverfahren) bei DMR mit zwei Zeitschlitzten die doppelte Kapazität gegenüber Analogfunk und zusätzlich Datenfunk mit 9,8 kbit/s.

#### Technische Daten

Frequenzbereich:	136 - 174 MHz (VHF) 403 - 470 MHz (UHF)
Kanalbandbreite:	12,5 kHz
Zugriffsverfahren:	Klassisch analog FDMA (Frequency Division Multiple Access, Frequenzmultiplex) mit Zugriff der Benutzer auf eigene Frequenzkanäle, un gepulst Digital TDMA mit 2 Zeitschlitzten (Time Division Multiple Access, Zeitmultiplex; TDMA führt notwendigerweise zu einer periodischen Pulsung des Signals)
Sendeleistung:	Basisstation und Repeater bis 40 W Fahrzeugfunkgerät bis 25 W
Datenübertragung:	IPv4 mit 9,8 kBit/s brutto, effektiv 2,2 kBit/s pro Kanal.

#### **4 Literatur und Links**

- [1] Damerau, Peter: Einführung des digitalen TETRA-Bündelfunk-Systems in Deutschland; in: „Energieversorgung & Mobilfunk“, Tagungsband der 5. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V., 22.-23. März 2006 in Stuttgart; im Verlag des ANBUS e.V. Fürth, 2005, ISBN 3-9810359-1-7; S. 191-195
- [2] NRPB National Radiological Protection Board (Hrsg.): Possible Health Effects from Terrestrial Trunked Radio (TETRA) – Report of an Advisory Group on Non-Ionizing Radiation; Documents of the NRPB Vol. 12 No. 2 2001; [www.hpa.org.uk/radiation/publications/documents\\_of\\_nrpb/abstracts/absd12-2.htm](http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/documents_of_nrpb/abstracts/absd12-2.htm)
- [3] Hyland, Gerard J.: Wie Immissionen von TETRA-Basisstationen die menschliche Gesundheit nachteilig beeinflussen können; in: „Energieversorgung & Mobilfunk“, Tagungsband der 5. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V., 22.-23. März 2006 in Stuttgart; im Verlag des ANBUS e.V. Fürth, 2005, ISBN 3-9810359-1-7; S. 197-215
- [4] Davidson, Andy: Erfahrungen mit TETRA-Bündelfunk in Großbritannien – Fallbeispiele; in: „Energieversorgung & Mobilfunk“, Tagungsband der 5. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V., 22.-23. März 2006 in Stuttgart; im Verlag des ANBUS e.V. Fürth, 2005, ISBN 3-9810359-1-7; S. 217-231
- [5] Informationsseite der TETRA- und Mobilfunk-kritischen Initiative TETRAwatch [www.tetrawatch.net](http://www.tetrawatch.net)
- [6] TETRA MoU: Forum für Hersteller, Anwender, Netzbetreiber; [www.tetramou.com](http://www.tetramou.com)
- [7] Homepage der ETSI (European Telecommunications Standards Institute, Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen); [ww.etsi.com](http://www.etsi.com)
- [8] Homepage Verband professioneller Mobilfunk e.V.; [www.pmev.de](http://www.pmev.de)

© Dr.-Ing. Martin H. Virnich, Mönchengladbach, April 2009

ibu – Ingenieurbüro für Baubiologie und Umweltmesstechnik, Mönchengladbach  
[www.baubiologie-virnich.de](http://www.baubiologie-virnich.de)