



**OFCOM** Federal office for communications  
**OFCOM** Office fédéral de la communication  
**BAKOM** Bundesamt für Kommunikation  
**UFCOM** Ufficio federale delle comunicazioni  
**UFCOM** Uffici federal da comunicaziuns

---

# "Faktenblatt" TETRA

## 1 Einführung

TETRA ist ein digitales, zelluläres Bündelfunksystem für Sprach- und Datenübertragung. Man erwartet von TETRA, dass die einheitliche technische Grundlage trotz der hohen Komplexität aufgrund grosser Stückzahlen wirtschaftlichere Lösungen als bisher erlauben und zudem eine grosse Flexibilität bieten wird.

Digitale Bündelfunksysteme sind moderne Funkssysteme für private und öffentliche Betriebsfunkanwendungen und für Sicherheitsfunkanwendungen (PMR/PAMR<sup>1</sup>). Im Gegensatz zu den früheren, konventionellen analogen Festkanalsystemen (jeder Dienst bzw. jeder Benutzer hatte einen bestimmten Funkkanal die ganze Zeit fest zugeteilt), werden bei Bündelfunksystemen die Frequenzen den einzelnen Teilnehmern und Diensten dynamisch zugeordnet. Damit kann man den sog. Bündelgewinn ausnützen und die Spektrumseffizienz erhöhen. Hinzu kommt, dass mit der digitalen Technik die Qualität und die Sicherheit der Funkssysteme erheblich erhöht werden konnte.

Bereits in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre begann man geeignete Lösungen für digitale PMR-Systeme zu suchen. Dieser Schritt war notwendig, um die Spektrumseffizienz zu erhöhen, die technische Sicherheit zu verbessern und die Verschlüsselung der Verbindung zu erleichtern. Damals entstanden die ersten firmenspezifischen digitalen PMR-Systeme, darunter ASTRO und iDEN (beide Motorola), EDACS (Ericsson), SR 440 (Bosch/Ascom) und Tetrapol (Matra Communication).

Mit der Schaffung eines einheitlichen Standards für digitale PMR-Systeme wurde jedoch erst begonnen, als sich Hersteller, Verwaltungen und Nutzergruppen entschlossen, im Jahre 1989 innerhalb von ETSI eine solche Norm namens TETRA zu erarbeiten. TETRA wurde unterdessen zu einem der umfassendsten Standards, der jemals von ETSI entwickelt wurde – nur noch vergleichbar mit dem erfolgreichen GSM-Standard für öffentliche Mobilfunkssysteme.

Potentielle Anwender von Bündelfunksystemen sind geschlossene Benutzergruppen wie Transportdienste (Taxi, SBB, Transportunternehmen etc.), Flughäfen, Energieunternehmen sowie Sicherheitsorgane (z.B. Polizei, Feuerwehr, Sanität, Armee, Zivilschutz, Grenzwachtkorps etc.). Alle diese Benutzergruppen haben entweder ihr eigenes privates Bündelfunksystem oder benutzen die Dienste einer Bündelfunkbetreiberin. Heute basieren noch ca. 90% der Betriebsfunkssysteme auf analogen Technologien.

Bündelfunksysteme unterscheiden sich von öffentlichen Mobilfunkssystemen wie GSM oder UMTS vor allem durch schnellen Verbindungsaufbau, Gruppenrufe, Prioritätsrufe, End-zu-End-Verschlüsselung und der Möglichkeit der direkten Verbindung von Mobilstation zu Mobilstation ohne das Dazwischenschalten einer Basisstation (sog. Direct Mode).

## 2 Entwicklung in Europa

Der Markt für den professionellen Mobilfunk beträgt weltweit jährlich ca. 4,6 Milliarden Euro, also nahezu 7 Milliarden CHF. Auf Europa dürfte davon etwa ein Drittel, also ca. 1,5 Milliarden Euro, entfallen – bei ca. 6 Millionen Benutzern. Die Anzahl der *potentiellen* Nutzer in

---

<sup>1</sup> Der Markt für den professionellen Mobilfunk bzw. den Betriebsfunk wird PMR (Private Mobile Radio) oder PAMR (Public Access Mobile Radio) genannt. Bei PMR wird das Funksystem vom Benutzer selber betrieben; bei PAMR werden die Bündelfunkdienste bei einer unabhängigen Netzbetreiberin bezogen. PAMR-Betreiberinnen bietet meistens auch einen Zugang ins Festnetz.

Europa wird auf 10 Millionen geschätzt<sup>2</sup>. Eine Zuwachsrate von 2% - 3% pro Jahr wird von verschiedenen Seiten vorhergesagt. Dieses Wachstum wird erwartet, weil die Marktdurchdringung mit PMR-Systemen in Europa lediglich 2% beträgt. Verglichen mit den USA ist dies wenig; dort beträgt die Penetration bereits 8%<sup>3</sup>. Hinzu kommt, dass heute noch ca. 90% der PMR-Systeme in Europa auf veralteten analogen Technologien beruhen, die über kurz oder lang durch modernere digitale Systeme ersetzt werden.

Der Markttrend bei PMR und insbesondere auch bei Sicherheitsfunkanwendungen zeigt deutlich in Richtung grosser, gemeinsam benutzter Netze. Traditionelle Benutzer von PMR-Systemen wie öffentliche Versorgungsbetriebe (Strom-, Gas- und Wasserversorgung) sowie das Transportgewerbe lagern ihre Funkaktivitäten mehr und mehr zu spezialisierten Bündelfunkbetreiberinnen aus.<sup>4</sup>

Heute (2001) sind bereits über 40 regional oder landesweit operierende Organisationen und Dienste in Europa mit TETRA-Systemen ausgerüstet<sup>5</sup>. Schätzungen gehen davon aus, dass bis im Jahre 2003 ca. 80% des digitalen PMR-Marktes in Europa mit der Technologie von TETRA bedient wird. Man rechnet im Jahre 2003 mit insgesamt 1,22 Mio. Teilnehmern im digitalen PMR-Markt in Europa. Davon werden etwa 80% die TETRA-Technologie einsetzen<sup>6</sup>.

### 3 Konzessionen in der Schweiz

Im Bereich der Mobilfunkanwendungen hat sich im internationalen Umfeld, neben der weiterhin zunehmenden Verbreitung von GSM, die mögliche Einführung von digitalen Bündelfunkanwendungen für besondere Kommunikationszwecke abgezeichnet. Die ComCom hat auf diesen Trend reagiert, indem sie bereits 1999 das BAKOM beauftragt hat, eine Bedürfnisabklärung im 870 - 876 MHz / 915 - 921 MHz Bereich und eine Ausschreibung im 410 - 430 MHz Bereich durchzuführen. Die Ergebnisse dieser Arbeiten haben gezeigt, dass im oberen Frequenzbereich kein grosses Interesse vorhanden war. Im unteren Frequenzbereich reichten die zur Verfügung stehende Kanäle nicht aus, um ein wirtschaftliches Bündelfunknetz aufzubauen, trotz der Rückgabe der Frequenzen der Firma Modacom. Zu diesem Zeitpunkt war dieses Frequenzband noch mit dem analogen Bündelfunknetz der Swisscom (Speedcom) und mit einzelnen Betriebsfunkanwendungen stark belegt. Die Einführung eines digitalen Bündelfunknetzes war ausgeschlossen, da die notwendigen zusammenhängenden Frequenzbereiche nicht zur Verfügung standen.

Im Jahre 2000 hat die Swisscom offiziell bekannt gegeben, dass sie sich aus dem Geschäftsfeld Speedcom per 30. September 2000 zurückziehen werde. Dieser Entscheid hat die ComCom veranlasst, die Situation neu zu beurteilen. Das BAKOM wurde im Frühling 2000 erneut beauftragt, eine Bedürfnisabklärung (im 410 - 430 MHz Frequenzbereich) durchzuführen. Die Resultate der Abklärung haben gezeigt, dass der Kreis der Interessenten grundsätzlich zugenommen hat und dass heute mit den zusätzlichen Frequenzen ein wirtschaftliches Netz aufgebaut werden könnte. Die ComCom hat das BAKOM beauftragt, eine Ausschreibung für die Auktion einer landesweiten Konzession durchzuführen. Nach Ablauf der Eingabefrist vom 22.12.2000 sind jedoch keine Bewerbungsdossiers für eine landesweite

---

<sup>2</sup> Funkschau 5/98, S. 80 ff.

<sup>3</sup> Tetrapol PAS Conversion by ETSI, Explanatory report, Part 1.

<sup>4</sup> Siehe auch: ERC Report 52, "Methodology for Assessment of PMR Systems in terms of Spectrum Efficiency, Operation and Implementation".

<sup>5</sup> TETRA Swiss News, Ausgabe 5, 1. August 2000.

<sup>6</sup> Intex Management Services Ltd; 6 Dencora Business Park; Booth Drive; Wellingborough, NN8 6GR; England; Tel: +44 (0)1933 40 22 55; Fax: +44 (0)1933 40 22 66; Email: sales@imsresearch.com

Konzession eingegangen. Gleichzeitig wurde Interesse an regionalen Netzen angezeigt. Die Konzessionierung von regionalen Netzen wird geprüft.

## 4 Dienste

Bisher wurden hauptsächlich die Eigenschaften des Funkkanales und die Struktur der TETRA-Kanäle auf der physikalischen Ebene der Luftschnittstelle betrachtet. Für den Anwender ist es jedoch viel wichtiger zu wissen, welche Dienste man mit TETRA realisieren kann.

Vereinfacht darf man sagen, dass TETRA fast alles leisten kann, was bisher mit konventionellen PMR-Systemen möglich war, ergänzt durch die vielfältigen Möglichkeiten der immer wichtiger werdenden Datenübertragung. Schätzungen besagen, dass bis zum Jahr 2004 mehr als 50% der gesamten Funkkommunikation Paketdatenverkehr sein wird, IP-Telefonie eingeschlossen.

Darüber hinaus bietet die flexible System- und Schnittstellenstruktur von TETRA aber noch viele zusätzliche Möglichkeiten. Um dies überschaubarer zu machen, hat man eine Unterteilung in verschiedene Dienstgruppen vorgenommen, nämlich Teledienste, Trägerdienste (bzw. Datendienste) und Zusatzdienste. Viele dieser Dienste sind in den öffentlichen Mobilfunksystemen noch nicht vorhanden.

Die untenstehende Liste ist nicht vollständig und enthält lediglich eine kleine Auswahl von Diensten, die mit TETRA angeboten werden können.

### Teledienste:

- **Individual Call (Individualruf):** Dieser Dienst entspricht der Verbindung in einem öffentlichen Mobilfunksystem (GSM, UMTS). Ein Teilnehmer ruft einen bestimmten anderen Teilnehmer und wird mit diesem verbunden.
- **Group Call (Gruppenruf):** Ein bestimmter Teilnehmer ruft eine vorbestimmte Gruppe. Jedes Mitglied der Gruppe kann alles mithören und mitsprechen. Der Gruppenruf kann so eingerichtet werden, dass die einzelnen Mitglieder quittieren müssen oder nicht. Eine Gruppe kann dynamisch modifiziert werden, d.h. es können Mitglieder hinzugefügt oder entfernt werden.
- **Direct Mode:** Beim Direkt-Mode kommunizieren zwei oder mehrere Mobilstationen direkt miteinander, ohne Einbezug einer Basisstation (Walky-Talky).
- **Broadcast Call:** Dies ist eine unidirektionale Punkt-zu-Multipunkt-Verbindung in einem bestimmten Gebiet. Das Gebiet und die Teilnehmer sind zum voraus bestimmt. Die einzelnen Teilnehmer quittieren den Ruf nicht und es kann demzufolge vom Rufenden keine Kontrolle darüber geführt werden, wer den Ruf empfangen hat oder nicht.
- **Emergency Call (Notruf):** Mit einer Notruftaste kann ein Verbindungsaufbau mit hoher Priorität zu einem Dispatcher oder einer vorbestimmten Gruppe von Teilnehmern aufgebaut werden.
- **Include Call:** Dieser Ruf erlaubt es, während eines Gespräches einen oder mehrere zusätzliche Teilnehmer anzurufen und im Gespräch einzubinden.

- **Open Channel (Offener Sprechkanal):** Eine Gruppe von Teilnehmer kann sich auf einem bestimmten Kanal, während einer bestimmten Zeit, miteinander unterhalten. Innerhalb der Gruppe hört jeder jeden und kann jederzeit sprechen. Bei TETRA ist dieser Dienst nicht explizit standardisiert. Er kann jedoch mit der Hilfe einer ganzen Reihe von Zusatzdiensten (z.B. Pre-emptive Priority Call und Call Retention) installiert werden (siehe ETR 120).

#### Trägerdienste (Datendienste):

- **Status Transmission:** Sehr kurze, vordefinierte Meldungen können vom Dispatcher zu den Mobilstationen und umgekehrt oder zwischen den Mobilstationen übermittelt werden.
- **Short Data Service:** Vordefinierte Meldungen können an einzelne Teilnehmer oder an eine Gruppe versendet werden.
- **Leitungsvermittelte Datendienste:**
  - Ungeschützte Datenübertragung:  $n \times 7,2 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ oder } 4$ )
  - Geschützte Datenübertragung:  $n \times 4,8 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ oder } 4$ )
  - Hochgeschützte Datenübertragung:  $n \times 2,4 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ oder } 4$ )( $n =$  Anzahl Zeitschlitz die auf einer Trägerfrequenz benützt werden).
- **Paketvermittelte Datendienste:**
  - Verbindungsorientierte Paketdatendienste: Übertragung von X.25-Paketen von einem Quellenknoten zu einem Zielknoten. Zwischen den beiden Knoten wird eine logische bzw. virtuelle Verbindung aufgebaut.
  - Verbindungslose Paketdatendienste: Ein einzelnes Datenpaket wird von einem Quellenknoten zum Zielknoten (oder zu mehreren Zielknoten) übermittelt. Es wird keine virtuelle Verbindung aufgebaut.
  - TCP/IP Access: Dieser Datendienst erlaubt den Mobilstationen einen Zugang zum Internet oder zu Servern die das TCP/IP-Protokoll unterstützen. Auch WAP wird in TETRA-Netzen bereits angeboten.

#### Zusatzdienste:

- **Discreet Listening:** Eine autorisierte Person kann den Funkverkehr abhören, ohne dass die beteiligten Teilnehmer dies merken.
- **Ambience Listening (Mikrofonfreischaltung):** Dieser Zusatzdienst erlaubt es dem Dispatcher bei unklaren und gefährlichen Situationen unbemerkt in ein Fahrzeug hineinzuhören. Dieser Dienst ist vor allem für die Polizei oder andere Sicherheitsdienste wichtig.
- **Priority Call (Prioritätsruf):** Dieser Zusatzdienst erlaubt einem Teilnehmer dem Ruf eine Priorität zuzuordnen. Der Ruf wird dann vor allen anderen Rufen, die eine tiefere Priorität haben, abgearbeitet. Wenn keine Netzwerkressourcen mehr vorhanden sind (z.B. alle Kanäle sind besetzt) können mit dem sog. Pre-emptive Priority Call die nötigen Ressourcen freigeschaltet werden. Die Verbindungen mit der tiefsten Priorität werden demzufolge abgebrochen.

- **Late Entry:** Dieser Zusatzdienst erlaubt einem Teilnehmer sich später in ein Gruppengespräch einzuschalten, wenn er beispielsweise beim Aufruf zum Gruppengespräch besetzt war oder sein Gerät noch nicht eingeschaltet hatte.

uvm.

## 5 Umweltauflagen

### 5.1 Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NIS)

Sowohl die Sendeantennen der Basisstationen als auch die TETRA-Mobilgeräte werden zusätzliche nichtionisierende Strahlung in die Umwelt abgeben.

Hinsichtlich der Strahlungsintensität der Mobilgeräte gibt es in der Schweiz bisher keine rechtsverbindlichen Schutzbestimmungen.

Die Strahlung der Basisstationen hingegen wird durch die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) begrenzt. Die NISV enthält einerseits Anforderungen an einzelne Anlagen, andererseits begrenzt sie auch die gesamte Hochfrequenzstrahlung und damit indirekt die Nutzung des Frequenzspektrums insgesamt.

Für eine einzelne Mobilfunksendeanlage legt die NISV fest, dass deren Strahlung an Orten mit empfindlicher Nutzung den Anlagegrenzwert nicht überschreiten darf. Orte mit empfindlicher Nutzung sind Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten, raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze sowie nicht überbaute Bauzonen. Der Anlagegrenzwert ist für die elektrische Feldstärke festgelegt und beträgt für TETRA-Anlagen, die in Frequenzbändern zwischen 400 und 500 MHz arbeiten, in der Regel 3 V/m. Zur Anlage gehören alle nahe beieinander liegenden Sendeantennen für Mobilfunk und drahtlose Teilnehmeranschlüsse. Die Einhaltung des Anlagegrenzwertes wird durch die zuständige Baubehörde der Gemeinde oder des Kantons geprüft. Zu diesem Zweck füllt die Konzessionärin für jede Sendeanlage, die sie neu errichten, verlegen oder ändern will, ein Standortdatenblatt aus, welches technische Angaben über die Anlage und eine Prognose der Strahlungsintensität an benachbarten Aufenthaltsorten von Personen enthalten muss. Dieses Standortdatenblatt ist Bestandteil des Baugesuchs und kann von der Baubehörde öffentlich zugänglich gemacht werden.

Damit der Anlagegrenzwert eingehalten werden kann, ist ein gewisser Abstand zwischen der Sendeanlage und den Orten mit empfindlicher Nutzung notwendig. Wie gross dieser Abstand sein muss, hängt sehr stark von der Sendeleistung und Abstrahlrichtung der Anlage sowie von den topographischen Verhältnissen ab.

Für die gesamte Hochfrequenzstrahlung, inkl. derjenigen von Rundfunk-, Betriebsfunk- und Amateurfunkanlagen, verlangt die NISV eine Begrenzung an allen Orten, an denen sich Menschen – auch nur kurzfristig – aufhalten können. Die relevanten Grenzwerte – die sog. Immissionsgrenzwerte – werden selten, und dann höchstens in unmittelbarer Nähe einer Sendeanlage erreicht oder überschritten. Bei Mobilfunkanlagen finden sich solche potenziell kritischen Situationen praktisch nur auf zugänglichen Flachdächern, auf denen eine Sendeanlage montiert ist. Im Standortdatenblatt liefert die Konzessionärin den Nachweis, dass die Immissionsgrenzwerte durch die von der geplanten Anlage zusätzlich erzeugte Strahlung nicht überschritten werden.

## 5.2 Berücksichtigung von Umweltanliegen

Der Bau neuer Telekommunikationsnetze führt zwangsläufig zur Errichtung neuer Infrastrukturbauten wie Antennenanlagen. Um zwischen dem Aufbau von Telekommunikationsnetzen mit dem damit verbundenen Angebot von Fernmeldediensten und den Interessen von Umweltschutz und Raumplanung in der Praxis einen Interessenausgleich zu finden, hat sich eine Arbeitsgruppe von Bund und Kantonen (UVEK/BPUK) unter Mitarbeit von Funknetzbetreibern mit Fragen der Koordination der Planungs- und Baubewilligungsverfahren für Funkinfrastrukturen befasst. Die Empfehlungen sind auf der Homepage des BAKOM publiziert ([www.bakom.ch](http://www.bakom.ch)).

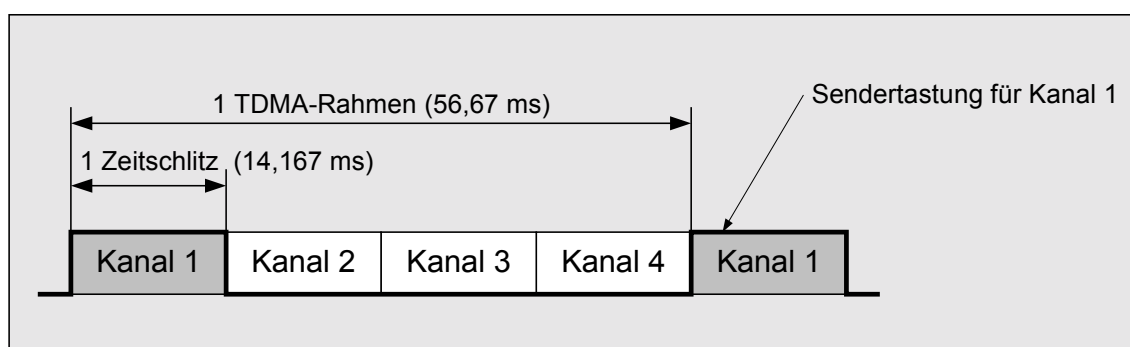
Zudem werden im Rahmen der Konzessionsvergabe Verpflichtungen in die Konzessionen der Betreiber aufgenommen, wonach Antennenstandorte ausserhalb der Bauzonen nach Möglichkeit gemeinsam zu nutzen sind. Beim Bau von neuen Standorten sind die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Raumplanung, des Natur- und Heimatschutzes sowie der Vorschriften der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung einzuhalten.

Das BUWAL (Abteilung Landschaft) hat am 30. 10.1998 ein Merkblatt betreffend Berücksichtigung der Erfordernisse des Natur- und Landschaftsschutzes sowie der Walderhaltung beim Bau von Mobilfunkantennen veröffentlicht.

## 6 Technologie

Das für TETRA benutzte Kanalzugriffsverfahren ist das **TDMA**-Verfahren (Time Division Multiple Access).

TETRA liefert vier unabhängige Kommunikationskanäle innerhalb eines 25 kHz Funkkanals. Dabei wird ein einzelner solcher Kanal nur während einem Viertel der Zeit für die Dauer eines Zeitschlitzes (Slot) belegt. Während der restlichen Zeit kann der Funkkanal von anderen Teilnehmern benutzt werden. Der Sender wird daher bei einer Verbindung ca. 18-mal pro Sekunde ein- und ausgeschaltet. Bei Bedarf für grosse Übertragungskapazität kann jedoch ein einzelner Benutzer auch mehrere Zeitschlitzes (bis zu vier) belegen. Dabei können von einem einzelnen Teilnehmer sowohl Sprache als auch Daten gleichzeitig übertragen werden. Das prinzipielle Verfahren ist im Bild 1 ersichtlich.



**Bild 1: Das Kanalzugriffsverfahren TDMA von TETRA**

Ähnlich wie bei GSM wird auch bei TETRA auf einem bestimmten Träger im ersten Zeitschlitz in jedem Rahmen der Kontrollkanal ausgesendet. Dieser Kontrollkanal wird dazu verwendet, den Handys die Systemdaten des Netzes zu übermitteln und die Synchronisation zwischen Handys und der Basisstation zu ermöglichen.

Die Sendeleistungen der Mobilgeräte werden mit Kommandos von der Basisstation dauernd auf dasjenige Minimum geregelt, welches die Basisstation braucht, um die Daten von den Mobilgeräten noch zu erkennen (power control). Mit dieser Leistungsregelung können einerseits Interferenzen minimiert und andererseits die Batterielebensdauer der Mobilgeräte maximiert werden. Die Sendeleistung der Basisstation hingegen wird bei TETRA nicht geregelt.

Als Modulationsverfahren wird  $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying) angewendet. Dieses lineare Modulationsverfahren ist zwar äusserst spektrumseffizient, verlangt aber sehr lineare und daher teure Senderendstufen, um niedrige unerwünschte Ausserbandaussendungen zu erzeugen.

Die maximale Datenrate von TETRA liegt bei bis zu 28,8 kBit/s (ungeschützt) bei 25 kHz Kanalbandbreite. Bedingt durch diesen relativ hohen Datendurchsatz ist TETRA besonders geeignet beim Einsatz für die mobile Datenübertragung.

TETRA kann grundsätzlich allen auf Frequenzen unter 1 GHz eingesetzt werden. In der Praxis werden aber nur die typischen, für PMR ausgewiesenen Frequenzen im 160-, 400-, und 870-MHz-Band belegt (siehe Kapitel 7).

Die TETRA-Spezifikationen decken drei ganz unterschiedliche Anwendungsgebiete ab, nämlich:

- Voice plus Data (V+D);
- Packet Data Optimized (PDO);
- Direct Mode.

Für diese drei Anwendungsfälle wurden verschiedene Standards entwickelt. Diese basieren jedoch auf der gleichen physikalischen Radioplattform (Modulation, Kanalraster, Frequenzen usw.).

Geräte nach den V+D-Spezifikationen bieten eine reichhaltige Palette von Trägerdiensten, Telediensten und Zusatzdiensten für gemischte Sprach- und Datenübertragung an.

Geräte nach den PDO-Spezifikationen unterstützen nur paketvermittelte Datendienste. Obwohl auch von V+D-Anlagen paketorientierte Datendienste übertragen werden können, ist die Luftschnittstelle von PDO zur Übertragung von paketorientierten Daten besser geeignet. Dies ist insbesondere im Hinblick darauf interessant, dass in naher Zukunft die Datendienste – und insbesondere auch die paketvermittelten Datendienste (z.B. Zugriff auf das Internet) – immer mehr an Bedeutung gewinnen werden.

Direct Mode erlaubt eine direkte Verbindung von Mobilstation zu Mobilstation, ohne Einbezug einer Basisstation. Diese Betriebsart wird dann eingesetzt, wenn sich die Teilnehmer ausserhalb des versorgten Gebietes befinden.

Wie bei den meisten Funksystemen wird auch bei TETRA das Frequenzduplexverfahren angewendet (ausser beim Direkt Mode, siehe unten). Der Uplink- und der Downlink wird auf zwei verschiedenen Frequenzen abgewickelt, welche durch den sog. Duplexabstand voneinander getrennt sind. Die Grösse dieses Duplexabstandes hängt vom Frequenzband ab, in dem das System betrieben wird. Die Endgeräte von TETRA (wie der meisten PMR-Systeme) arbeiten im allgemeinen im Halbduplex-Betrieb, d.h. es kann nicht gleichzeitig gesendet und empfangen werden. Der Vollduplexbetrieb, den wir von den öffentlichen Mobilfunkssystemen und von den drahtgebundenen Telefonen her kennen, wäre mit TETRA ebenfalls einfach zu realisieren, wird aber in der Praxis selten angewendet.

Beim Direkt Mode ist nur Simplexbetrieb möglich. Die an einer Verbindung beteiligten Mobilstationen arbeiten auf der gleichen Frequenz. Auf einem Träger beim können beim Direkt Mode bis zu zwei unabhängige Simplex-Verbindungen gleichzeitig aufrechterhalten werden.

TETRA und Tetrapol sind die beiden bekanntesten Systeme für digitalen Bündelfunk in Europa. Ein kleiner Vergleich dieser beiden Systeme ist daher angebracht und in Tabelle 1 dargestellt (für Tetrapol ist ein separates "Faktenblatt" erhältlich).

**Tabelle 1: Vor- und Nachteile von TETRA verglichen mit Tetrapol**

<i>Vorteile von TETRA verglichen mit Tetrapol</i>	<i>Nachteile von TETRA verglichen mit Tetrapol</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Datenraten von TETRA sind deutlich grösser als diejenigen von Tetrapol (je nach Kanalbündelung bis um den Faktor 4).</li> <li>▪ Sprache und Daten können bei TETRA gleichzeitig übertragen werden.</li> <li>▪ Duplexbetrieb ist bei TETRA dank dem Kanalzugriffsverfahren TDMA ohne Antennenweiche möglich, und daher einfach zu realisieren.</li> <li>▪ Die Spektrumseffizienz von TETRA ist grösser als diejenige von Tetrapol (je nach Umgebung um den Faktor 1,16 bis 2,0).</li> <li>▪ TETRA ist ein anerkannter Europäischer Standard, wohingegen Tetrapol bis anhin noch nicht als ETSI-Standard akzeptiert wurde.</li> <li>▪ TETRA ist ein äusserst flexibles System und kann für alle PMR-Anwendungen sowohl für Sicherheitsfunk als auch für konventionellen PMR/PAMR eingesetzt werden.</li> <li>▪ Weniger aufwendiges Antennennetzwerk in der Basisstation, da dank TDMA (Zeitschlitzverfahren) 4 Kanäle pro Trägerfrequenz zur Verfügung stehen.</li> <li>▪ Bei TETRA wird die Sendeleistung der Mobilstation von der Basisstation geregelt und den aktuellen Verhältnissen angepasst. Dadurch wird die Autonomie der Mobilstation erhöht und die Interferenzen im Netz werden verringert.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die maximalen Zellenradien von TETRA sind etwa 30% kleiner als diejenigen von Tetrapol (unter der Annahme von <u>gleichen Sendespitzenleistungen</u>). TETRA braucht daher etwa die doppelte Anzahl Basisstationen als Tetrapol, um ein bestimmtes Gebiet zu versorgen.</li> <li>▪ Die Ausserbandaussendungen sind bei TETRA grösser als bei Tetrapol. Frequenzzuteilung ist schwieriger. Es müssen möglichst ganze Frequenzblocks zugeteilt werden.</li> <li>▪ Gleichwellenfunk ist bei TETRA schwieriger zu realisieren und braucht Endgeräte mit leistungsfähigen Equalizer (MS Class E).</li> <li>▪ Geräte mit TDMA Kanalzugriff weisen tendenziell grössere Sendespitzenleistungen auf und können hörbare niederfrequente Störungen in elektro-akustischen Geräten induzieren.</li> </ul>

In der nachstehenden Tabelle 2 sind die wichtigsten Funkparameter von TETRA zusammengefasst.

Tabelle 2: Wichtige Funkparameter von TETRA

Parameter	Wert
Kanalraster	25 kHz
Sendeleistung Basisstation pro Trägerfrequenz (typisch)	25 W ERP
Sendeleistung Mobilgerät	1 W, 3 W, 10 W
Empfängerempfindlichkeit statisch (BER = 1,2%; 4,8 kBit/s; N = 4)	MS: -113 dBm BTS: -115 dBm
Empfängerempfindlichkeit dynamisch (TU50; BER = 1,2%; 4,8 kBit/s; N = 4) <sup>a)</sup>	MS: -104 dBm BTS: -106 dBm
Betriebsart	Semiduplex, Duplex
Kanalzugriffsverfahren	TDMA
Modulation	TT/4-DQPSK
Kanalbitrate	36 kBit/s
Maximale Datenrate, ungeschützt (Gross bit rate)	28,8 kBit/s
Netto Datenrate	Non-protected: n x 7,2 kBit/s Low-protected: n x 4,8 kBit/s High-protected: n x 2,4 kBit/s (n = 1, 2, 3 oder 4)
Sprachkodierung	A-CELP; 4,567 kBit/s
Spektrumseffizienz in interferenzbegrenzter Umgebung (viel Verkehr, viele Zellen)	50 Bit/(s*kHz*Zelle)
Spektrumseffizienz in rauschbegrenzter Umgebung (eine isolierte Zelle)	384 Bit/(s*kHz)
Reichweite <sup>b)</sup>	Rural: ca. 14 km Suburban: ca. 4,5 km
ETSI-Standard	TETRA V+D: ETS 300 392 TETRA PDO: ETS 300 393 TETRA DMO: ETS 300 396 Testing: ETS 300 394
<b>Bemerkungen:</b>	
a) Gerät der Klasse A (optimiert für hügeliges- oder gebirgiges Gelände).	
b) Dynamisch; f = 400 MHz; P <sub>MS</sub> = 3 W (Spitzenleistung); Interferenzmarge = 1 dB; $\sigma_s$ (shadowing) = 6 dB; Versorgungssicherheit am Zellenrand = 90%; Antennenhöhe BTS = 30 m; Antennenhöhe MS = 1,5 m; Ausbreitungsmodell SE21; Antennengewinne und Zuleitungsverluste = 0 dB.	

## 7 Frequenzen

Folgende Frequenzbereiche stehen in Europa grundsätzlich für digitalen Bündelfunk zur Verfügung (ERC/DEC(96)04):

- 410 - 430 MHz;
- 870 - 876 MHz gepaart mit 915 - 921 MHz;
- 450 - 470 MHz;
- 385 - 390 MHz gepaart mit 395 - 399,9 MHz.

In der Schweiz kommt gegenwärtig nur der Bereich 410 - 430 MHz für die Einführung von grösseren regionalen oder landesweiten TETRA-Systemen in Frage, da alle anderen Bereiche entweder durch andere Anwendungen stark belegt sind (450 - 470 MHz), oder dafür zur Zeit keine Geräte zur Verfügung stehen (870 - 876 MHz gepaart mit 915 - 921 MHz). Der Frequenzbereich 385 - 390 MHz gepaart mit 395 - 399,9 MHz kann in der Schweiz für zivile Anwendungen nicht benutzt werden.

In der Schweiz ist es vorgesehen, für grössere regionale oder für ein landesweites digitales Bündelfunknetz insgesamt 1,5 MHz Spektrum (in drei Teilbereichen) aus dem Bereich 410 - 430 MHz zur Verfügung zu stellen (siehe Kapitel 3). Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, dass bei Bedarf für lokale TETRA-Netze (z.B. auf Flughäfen), Frequenzen aus dem Bereich 450 - 470 MHz in beschränkter Anzahl zur Verfügung gestellt werden können.

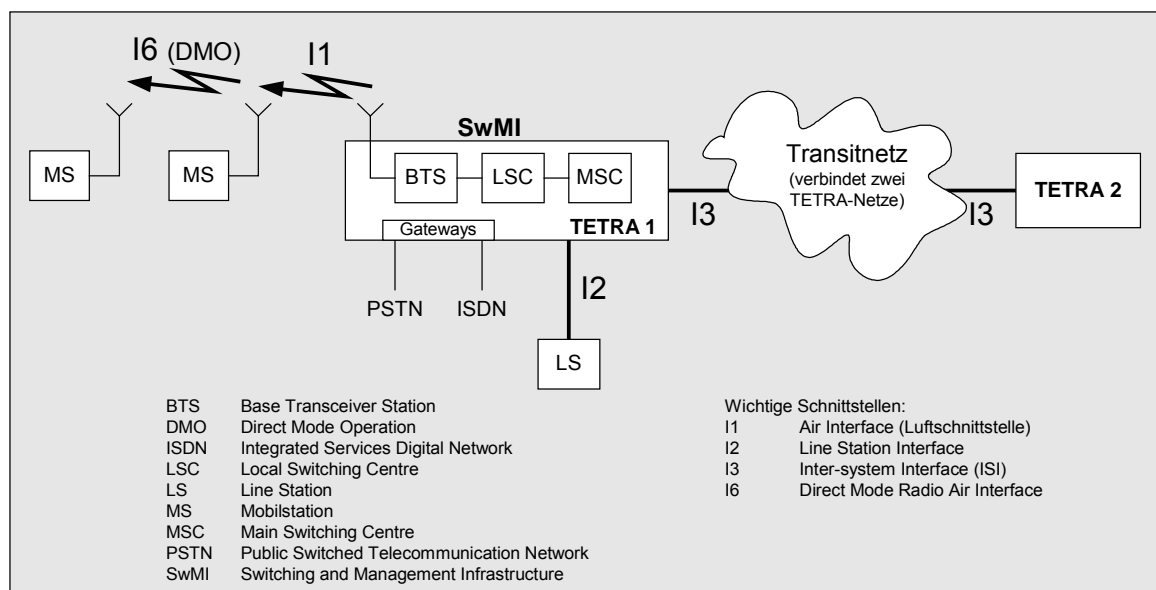
## 8 Netze

Digitale Bündelfunksysteme für PMR haben – verglichen mit den öffentlichen Mobilfunksystemen wie GSM oder UMTS – meistens kleine Teilnehmerzahlen mit kurzen Gesprächszeiten. Demzufolge ist das Verkehrsaufkommen klein und es können im allgemeinen grosse Zellen gebaut werden. Die abgestrahlte Sendeleistung pro Trägerfrequenz der Basisstation ist in der Grössenordnung von 25 W ERP.

In einer Zelle werden bei TETRA typischerweise 4 bis 5 Träger, d.h. 16 bis 20 logische Kanäle installiert.

Die verschiedenen PMR-Systeme unterscheiden sich untereinander sehr stark bezüglich der Anzahl Teilnehmer, dem Versorgungsgebiet, dem Verkehrsaufkommen und den angebotenen Diensten. Einige Systeme sind rauschbegrenzt (Systemgrenzen sind durch das Empfängerrauschen bestimmt) oder interferenzbegrenzt (starke Gleichkanalstörungen von Nachbarzellen sind vorhanden). Die Spektrumseffizienz ist stark von diesen Parameter abhängig (siehe auch Tabelle 2).

Der TETRA-Standard kann als "Tool Kit" betrachtet werden und bietet den Systemplanern viele Möglichkeiten, um das Netz optimal den Bedürfnissen der Teilnehmer anzupassen. Im Standard wird nicht eine spezielle Implementierung für den Netzaufbau vorgeschrieben. Die Spezifikationen definieren lediglich die Schnittstellen welche nötig sind, damit Interoperabilität, Interworking und Netzwerkmanagement zwischen den einzelnen Netzelementen gewährleistet wird. Dabei ist beispielsweise die Luftschnittstelle, also die Schnittstelle zwischen der Infrastruktur (SwMI) und der Mobilgerät, eine dieser Schnittstellen (siehe Bild 2).



**Bild 2: Netzkonfiguration mit den wichtigsten Schnittstellen von TETRA**

Die Verbindung eines TETRA-Netzes zu anderen Telekommunikationsnetzen wie PSTN oder ISDN wird über standardisierte Übergänge (Gateways) garantiert.

Bei kleinem Verkehrsaufkommen und einer grossflächigen Versorgung kann bei TETRA die sog. Gleichkanaltechnik (Gleichwellenfunk, Simulcast) angewendet werden. Dabei senden alle Basisstationen auf der genau gleichen Frequenz. Sowohl das Hochfrequenzsignal als auch die zeitliche Lage des Modulationssignal werden von den Basisstationen synchron ausgesendet. Das Netz kann als eine einzige, riesige Makrozelle betrachtet werden, die von mehreren Basisstationen gespeist wird. Mit diesem Verfahren kann man eine grossflächige aber verkehrsarme Gegend hervorragend ausleuchten, bei gleichzeitig hoher Frequenzökonomie. Wegen der hohen Bitrate von TETRA müssen die Endgeräte mit einem speziellen Filter (Equalizer) ausgerüstet werden, damit sie für die Gleichkanaltechnik eingesetzt werden können.

## Abkürzungen

A-CELP	Algebraic - Code Excited Linear Predictive
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation
BER	Bit Error Rate (Bitfehlerrate)
BPUK	Schweizerische Bau-, Planungs- und Umweltschutzdirektorenkonferenz
BT	Relative Filterbandbreite
BTS	Base Transceiver Station (Basisstation)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
DMO	Direct Mode Operation
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying
ERC	European Radiocommunications Committee
ERP	Effective Radiated Power (äquivalente Strahlungsleistung)
ETR	ETSI Technical Report
ETS	European Telecommunication Standard
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile communications
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU-R	International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector
MS	Mobilstation
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung
PAMR	Public Access Mobile Radio
PAS	Publicly Available Specifications
PDO	TETRA PDO System (Packet Data Optimised)
PMR	Private Mobile Radio (oder Business Private Radio)
PSTN	Public Switched Telephone Network
PUEM	Probability of Undetected Erroneous Message
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SE21	ERC Working Group Spectrum Engineering, Project Team 21
SwMI	Switching and Management Infrastructure
TDMA	Time Division Multiple Access
TETRA	Trans-European Trunked Radio
TU50	Typical Urban, 50 km/h
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
V+D	TETRA V+D System (Voice plus Data)
WAP	Wireless Application Protocol