



7. Juli 2015

---

# Faktenblatt TETRA

## Terrestrial Trunked Radio

---

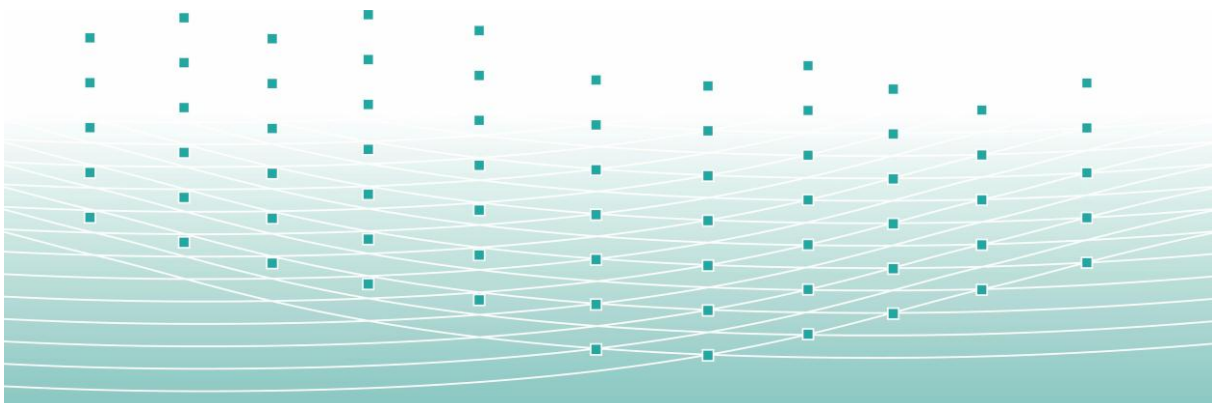
### Zusammenfassung

TETRA ist ein digitales Bündelfunksystem für Sprach- und Datenübertragung. Bündelfunksysteme sind Funkssysteme für privaten und öffentlichen Betriebs- und für Sicherheitsfunk. Der TETRA-Standard wurde vom Europäischen Normierungsinstitut ETSI (European Telecommunications Standards Institute) entwickelt und 1996 publiziert. Seither wurde er weiter ausgebaut. Heute ist TETRA einer der weltweit wichtigsten Funkstandards für sichere und zuverlässige Sprach- und Datenkommunikation.

TETRA arbeitet im TDMA-Verfahren (Time Division Multiple Access). Auf einem Funkkanal stehen 4 physikalische Kanäle (Zeitschlitz) zur Verfügung. In seiner ursprünglichen Auslegung (Release 1) sind bei TETRA mit der Phasenmodulation  $\pi/4$ -DQPSK auf einem Funkkanal mit der Bandbreite von 25 kHz Bitraten von bis zu  $4 \times 7,2$  kBit/s möglich.

Mit Release 2 von TETRA (kurz: TETRA 2) wurden ab 2006 umfangreiche neue Funktionalitäten in den Standard aufgenommen wie beispielsweise TEDS (TETRA Enhanced Data Service). TEDS setzt auf die adaptive Multi-Träger-Technik mit 8 Subträger pro 25 kHz und auf lineare QAM-Modulation. Mit den höherwertigen Modulationsarten und der Bündelung von bis zu 6 Funkkanälen zu einer Übertragungsbandbreite von 150 kHz (insgesamt 48 Subträger) sind mit TEDS Bitraten von bis zu 134 kBit/s pro Zeitschlitz möglich. Beim Belegen von 4 Zeitschlitz sogar über 500 kBit/s. Damit ist TETRA 2 ein WB (Wideband)-System.

TETRA 2 mit TEDS benützt die gleiche TDMA-Struktur wie Release 1 und ist vollständig rückwärtskompatibel.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Technologie</b> .....	<b>2</b>
2.1	TETRA Release 1 (TETRA 1) .....	2
2.1.1	TETRA V+D .....	2
2.1.2	TETRA PDO .....	3
2.1.3	TETRA DMO .....	3
2.2	TETRA Release 2 (TETRA 2) .....	4
2.2.1	Range Extension .....	4
2.2.2	TETRA Enhanced Data Service (TEDS) .....	4
<b>3</b>	<b>Dienste</b> .....	<b>5</b>
3.1	Teledienste .....	6
3.2	Trägerdienste (Datendienste) .....	6
3.3	Zusatzdienste .....	7
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Vergleich mit Tetrapol</b> .....	<b>7</b>
	<b>Abkürzungen</b> .....	<b>9</b>
	<b>Referenzen</b>	
	Literatur .....	9

## 1 Einführung

TETRA ist ein digitales, zellulares Bündelfunksystem für Sprach- und Datenübertragung. Digitale Bündelfunksysteme sind moderne Funkssysteme für privaten und öffentlichen Betriebs- und für Sicherheitsfunk (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 Bündelgewinn ausnützen und die Spektrumseffizienz erhöhen. Hinzu kommt, dass mit der digitalen Technik die Qualität und die Sicherheit der Funkssysteme erheblich erhöht werden konnte.

Bündelfunksysteme unterscheiden sich von öffentlichen Mobilfunkssystemen wie UMTS oder LTE 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 (Direct Mode).

Potentielle Anwender von Bündelfunksystemen sind geschlossene Benutzergruppen wie Transportdienste (Taxi, SBB, Transportunternehmen etc.), Flughäfen, Energieunternehmen sowie Sicherheitsorgane (Polizei, Feuerwehr, Sanität, Armee, Zivilschutz, Grenzwachtkorps etc.). Alle diese Benutzergruppen haben entweder ihr eigenes privates Bündelfunksystem oder benutzen die Dienste einer Bündelfunkbetreiberin.

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/EADS).

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. Der Standard wurde 1996 publiziert. TETRA wurde unterdessen zu einem der umfassendsten Standards, der jemals von ETSI entwickelt wurde.

Mit Release 2 von TETRA (kurz TETRA 2) wurden ab 2006 einige wichtige neue Funktionalitäten in den Standard aufgenommen wie beispielsweise TEDS (TETRA Enhanced Data Service). Mit höherwertigen Modulationsarten und der Bündelung von bis zu 6 Funkkanälen zu einem Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 150 kHz sind mit TEDS Bitraten bis zu 134 kBit/s pro Zeitschlitz möglich; beim Belegen von 4 Zeitschlitzten sogar über 500 kBit/s. Damit ist TETRA von einem NB-System (Narrowband) zu einem WB-System (Wideband) mutiert. Die ersten TEDS-fähigen Netze gingen Ende 2013 in Betrieb.

Wie bei den meisten Mobilfunkssystemen wird auch bei TETRA das Frequenzduplexverfahren angewendet (ausser beim Direct Mode). Der Up- und Downlink werden auf zwei verschiedenen Frequenzen abgewickelt, welche durch den Duplexabstand voneinander getrennt sind. Die Grösse dieses Duplexabstandes hängt vom Frequenzband ab, in welchem das System betrieben wird. Die Endgeräte von TETRA (wie der meisten PMR-Systeme) arbeiten im Allgemeinen im Halbduplex-Betrieb, d.h.

---

<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 Nutzer selber betrieben; bei PAMR werden die Bündelfunkdienste bei einer unabhängigen Netzbetreiberin bezogen. PAMR-Betreiberinnen bietet meistens auch einen Zugang ins Festnetz.

es kann nicht gleichzeitig gesendet und empfangen werden. Zum Senden muss dann jeweils eine Sendetaste betätigt werden (Push-to-Talk).

## 2 Technologie

### 2.1 TETRA Release 1 (TETRA 1)

TETRA benutzte das Kanalzugriffsverfahren TDMA (Time Division Multiple Access) mit vier physikalischen Kanälen (Zeitschlitzen) bzw. Teilnehmerverbindungen auf einem einzigen 25 kHz breiten Funkkanal. Bei Bedarf für grössere Übertragungskapazität kann ein einzelner Teilnehmer auch mehrere Zeitschlitze (bis zu vier) belegen.

Das Verfahren ist in der folgenden Abbildung ersichtlich. Die dick ausgezogene Linie zeigt den Verlauf der Sendeleistung des Teilnehmers auf Zeitschlitz 1.

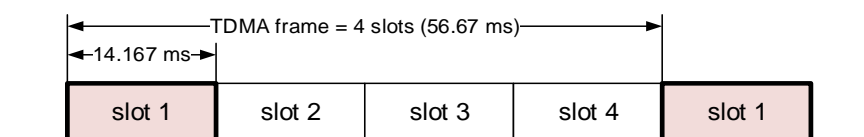


Abbildung 1: TDMA-Struktur von TETRA

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 Interferenzen minimiert und die Batterielebensdauer der Mobilgeräte erhöht werden. Die Sendeleistung der Basisstation wird bei TETRA nicht geregelt.

Als Modulationsverfahren wird  $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying), ein vierwertiges differentielles Phasenmodulationsverfahren, angewendet. Durch ein Modulationsfilter werden die unerwünschten Ausserbandaussendungen unterdrückt. Dadurch entstehen beim Modulationssignal moderate Amplitudenschwankungen. Diese bedingen einen linearen Leistungsverstärker mit tendenziell niedrigem Wirkungsgrad.

TETRA kann grundsätzlich auf allen Frequenzen, vorzugsweise jedoch unter 1 GHz, eingesetzt werden. In der Praxis werden aber nur die typischen für PMR ausgewiesenen Frequenzen im 160-MHz- und im 400-MHz-Band verwendet.

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

- Voice plus Data (V+D)
- Packet Data Optimised (PDO)
- Direct Mode Operation (DMO)

Für diese drei Anwendungsfälle wurde je ein Standard entwickelt. Diese basieren jedoch alle auf der gleichen physikalischen Radioplattform (Modulation, Kanalraster, Kanalzugriffsverfahren usw.).

#### 2.1.1 TETRA V+D

Die V+D-Spezifikation (Voice plus Data) ist der wichtigste TETRA-Standard [1] und bietet eine reichhaltige Palette von Trägerdiensten, Telediensten und Zusatzdiensten für gemischte Sprach- und Datenübertragung an.

Der Sprachkodierer/ -dekodierer (Codec) von TETRA basiert auf dem CELP-Verfahren (Code-Excited Linear Predictive). Die Bitrate des Codecs beträgt knapp 4,6 kBit/s. Obwohl diese Bitrate nur etwa ein

Drittel derjenigen des GSM-Codex beträgt, soll die Sprachqualität fast gleichwertig sein [3]. Die Sprachqualität (MOS) bei GSM ist knapp 4, diejenige von TETRA beträgt 3,6. MOS (Mean Opinion Score) ist ein subjektives Bewertungsverfahren für die Verständlichkeit der Sprache und kann in einem Bereich von 1 (schlecht) bis 5 (gut) liegen.

Die Bitraten von TETRA bei  $\pi/4$ -DQPSK-Modulation bei n belegten Zeitschlitz (n = 1, 2, 3 oder 4) für verschiedene Kodierungen sind:

- n × 7,2 kBit/s (ungeschützt, BER = 2,5%)
- n × 4,8 kBit/s (leicht geschützt, BER = 0,4%)
- n × 2,4 kBit/s (stark geschützt, BER = 0,01%)

Die angegebenen BER (Bitfehlerraten) gelten für die dynamische Empfängerempfindlichkeit von TETRA in einer bestimmten Umgebung.

Beim Belegen von 4 Zeitschlitz für eine Verbindung sind dann die maximalen Bitraten 28,8 kBit/s, 19,2 kBit/s und 9,6 kBit/s. Eine typische, in der Praxis unter realen Bedingungen realisierte Bitrate von TETRA ist 16 kBit/s pro Funkkanal (25 kHz). Diese Kapazität verteilt sich gegebenenfalls auf mehrere Teilnehmer in einer Zelle.

TETRA hat verschiedene Mechanismen um Daten sicher zu übertragen. Eine erste Sicherheitsvorkehrung ist die Verschlüsselung auf der Luftschnittstelle. Jeder Teilnehmer handelt mit der Basisstation den jeweiligen Kommunikationsschlüssel einzeln aus. Des Weiteren gibt es noch eine End-zu-End-Verschlüsselung welche auch die Daten zwischen Basisstation und Leitstelle verschlüsselt.

Der V+D-Standard wurde im Laufe der Zeit massiv erweitert (siehe Kapitel 2.2).

### 2.1.2 TETRA PDO

Geräte nach der PDO-Spezifikation (Packet Data Optimised) unterstützten nur paketvermittelte Datendienste. Da der V+D-Standard (siehe Kapitel 2.1.1) umfassender ist, immer weiter ausgebaut wurde und zusätzlich zur wichtigen Sprachübertragung ebenfalls paketorientierte Datendienste unterstützt, ist der PDO-Standard obsolet geworden. PDO wird seit 1998 beim ETSI nicht mehr weiterentwickelt (Standstill).

### 2.1.3 TETRA DMO

TETRA DMO (Direct Mode Operation) erlaubt eine direkte Verbindung von Mobilstation zu Mobilstation, ohne Einbezug einer Basisstation (Walkie-Talkie). So bleiben etwa beim Aufenthalt in unversorgten Räumen oder in Katastrophenfällen, in denen punktuell mit grossem Verkehrsaufkommen gerechnet werden muss, einfache Kommunikationsmöglichkeiten weiterhin bestehen. Diese Betriebsart kann auch dann eingesetzt werden, wenn sich die Teilnehmer ausserhalb des versorgten Gebietes befinden.

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

Zwei weitere interessante Gerätefunktionen mit DMO sind der DMO-Repeater und das DMO-Gateway:

- **DMO-Repeater:** Wenn DMO-Mobilstationen zu weit voneinander entfernt sind, um miteinander direkt in Verbindung zu treten, können diese via einen DMO-Repeater miteinander kommunizieren. Der DMO-Repeater ist eine speziell eingerichtete Mobilstation, die sich zwischen den DMO-Teilnehmern befindet und diese miteinander verbindet. Damit kann die Reichweite vom DMO-Betrieb ausgeweitet werden. Dies kann auch ausserhalb des Versorgungsgebietes einer Basisstation stattfinden.

- **DMO-Gateway:** Eine dafür eingerichtete Mobilstation kann als DMO-Gateway betrieben werden. Ein DMO-Gateway wird eingesetzt, um DMO-Teilnehmer, die sich ausserhalb des Versorgungsgebietes einer Basisstation befinden, mit dieser zu verbinden. Beispielsweise kann via ein DMO-Gateway ein Rettungsteam, das sich tief innerhalb eines grossen Gebäudes befinden und untereinander im DMO-Mode kommuniziert, mit den anderen Teilnehmer des Netzes und der Leitstelle in Kontakt bleiben. Als DMO-Gateway wirkt dann typischerweise eine spezielle Mobilstation in einem Fahrzeug, welches sich in der Nähe des betreffenden Gebäudes befindet und mit der Basisstation verbunden ist.

## 2.2 TETRA Release 2 (TETRA 2)

Da sich die öffentlichen Mobilfunksysteme UMTS und LTE (die grösste Konkurrenz von PMR-Systemen) rasch weiterentwickeln und immer höhere Datenraten ermöglichen musste auch TETRA nachziehen, um die steigenden Erwartungen der PMR-Kunden zu befriedigen. Ende 2005 wurde von ETSI der Release 2 von TETRA (TETRA 2) veröffentlicht mit u.A. den folgenden beiden wichtigen neuen Funktionalitäten:

- Range Extension
- TETRA Enhanced Data Service (TEDS)

Die beiden Funktionalitäten werden weiter unten ausführlicher beschrieben.

TETRA 2 benützt das gleiche TDMA-Kanalzugriffsverfahren wie TETRA 1 und ist vollständig rückwärtskompatibel.

### 2.2.1 Range Extension

Die Reichweite von TETRA 1 ist aufgrund der TDMA-Struktur auf 58 km beschränkt. Durch modifizieren der Up- und Downlink-Zeitschlitz und der Schutzintervalle zwischen den Zeitschlitz konnte bei TETRA AGA (Air-Ground-Air) die Reichweite auf bis zu 83 km erhöht werden. Mit AGA können Teilnehmer in Flugzeugen über eine Basisstation am Boden miteinander kommunizieren. Diese Möglichkeit ist vor allem für Sicherheitsorgane von Interesse. AGA unterstützt die V+D-Dienste von TETRA 1, jedoch nicht TEDS.

### 2.2.2 TETRA Enhanced Data Service (TEDS)

Während bei den ersten TETRA-Systemen noch die Sprachkommunikation im Vordergrund stand, kommen heute vermehrt auch datenbasierte Anwendungen zum Einsatz. Mit TETRA Enhanced Data Service (TEDS), der wichtigste Neuerung von TETRA 2, wurde nebst einer  $\pi/8$ -D8PSK-Phasenmodulation eine robuste Multi-Träger-Technik mit QAM-modulierten Subträgern eingeführt.

Bei der Multi-Träger-Technik von TEDS werden pro Funkkanal (25 kHz) 8 Subträger im Frequenzabstand von 2,7 kHz eingeführt. Die Symbolrate für die QAM-Symbole auf diesen Subträgern beträgt 2,4 kSymbols/s. Die Multi-Träger-Technik ähnelt vom Prinzip her stark dem OFDM-Verfahren, das beispielsweise bei LTE oder beim digitalen Rundfunk eingesetzt wird. Im Gegensatz zu OFDM werden bei der Multi-Träger-Technik die Symbole im Basisband gefiltert und damit die unerwünschten Ausserbandaussendungen stark reduziert. Die Multi-Träger-Technik ist vorteilhaft bei schwierigen Ausbreitungsbedingungen mit vielen Reflexionen.

Die einzelnen Subträger können wie folgt moduliert werden:

- 4-QAM (für die Versorgung des Zellenrandes)
- 16-QAM (für moderate Bitraten)
- 64-QAM (für hohe Bitraten bei guter Signalqualität)

Bei der Multi-Träger-Technik mit QAM-Modulation entstehen sehr grosse Amplitudenschwankungen. Diese sind um Einiges grösser als bei der Phasenmodulation von TETRA 1. Daher müssen bei TEDS

entweder sehr lineare und komplexe Endverstärker eingesetzt werden oder die Sendeleistung muss erniedrigt werden. Die zweite Massnahme reduziert den maximalen Zellenradius für TETRA 2.

Zusätzlich können bei TEDS zwei, vier oder sechs Funkkanäle à 25 kHz gebündelt und damit für eine einzige Verbindung Kanalbandbreiten von 50 kHz, 100 kHz oder 150 kHz zur Verfügung gestellt werden.

Im Downlink werden bei TEDS pro Zeitschlitz (14,17 ms) und pro Subträger 34 QAM-Symbole übertragen, bei der grössten Kanalbandbreite von 150 kHz (48 Subträger) also 1'632 QAM-Symbole pro Zeitschlitz. Die Kanalbitraten (nicht zu verwechseln mit der Nutzbitrate) bei TEDS sind in der folgenden Tabelle ersichtlich:

**Tabelle 1: Kanalbitraten von TEDS im Downlink [kBits/s]**

modulation type	channel bandwidth			
	25 kHz (8 subcarrier)	50 kHz (16 subcarrier)	100 kHz (32 subcarrier)	150 kHz (48 subcarrier)
4-QAM (2 bits/symbol)	38.4	76.8	153.6	230.4
16-QAM (4 bits/symbol)	76.8	153.6	307.2	460.8
64-QAM (6 bits/symbol)	115.2	230.4	460.8	691.2

Nach Abzug des Overheads der physikalischen Schicht (Header-, Synchronisations- und Pilotsymbole), der Redundanz der Kanalkodierung und den Headern der unteren Protokollschichten (MAC, LLC) sind bei TEDS mit 4 Zeitschlitz folgende maximale Nutzbitraten für die Übertragung von IP-Paketen möglich [2]:

**Tabelle 2: Maximale Bitraten von TEDS beim Belegen von vier Zeitschlitz im Downlink [kBit/s]**

modulation type and coding rate	channel bandwidth			
	25 kHz	50 kHz	100 kHz	150 kHz
$\pi/4$ -DQPSK ( $r = 2/3$ )	15			
$\pi/8$ -D8PSK ( $r = 2/3$ )	24			
4-QAM ( $r = 1/2$ )	10	26	55	86
16-QAM ( $r = 1/2$ )	20	51	110	173
64-QAM ( $r = 1/2$ )	30	77	164	259
64-QAM ( $r = 2/3$ )	40	103	219	345
64-QAM (uncoded)	60	154	329	518

Im Uplink sind die entsprechenden Bitraten etwa 10% geringer.

Mit aktivem Fehlerschutz bei realen Ausbreitungsbedingungen erreicht man mit TEDS in der Praxis bei der Kanalbandbreite von 50 kHz eine typische Bitrate von 80 kBit/s und bei der Kanalbandbreite von 150 kHz eine typische Bitrate von 250 kBit/s. Diese Kapazität verteilt sich gegebenenfalls auf mehrere Teilnehmer in einer Zelle.

TEDS dient hauptsächlich der Übertragung von IP-Datenpaketen über die Luftschnittstelle. Durch dynamische Anpassung der Kanalbandbreite und der Modulation an die sich ändernden Ausbreitungsbedingungen kann eine ständige und zuverlässige Verbindung eines Mobilgerätes via Intranet oder Internet zur Leitstelle aufrechterhalten werden.

### 3 Dienste

Vereinfacht kann man sagen, das TETRA fast alles leisten kann, was bisher mit konventionellen PMR-Systemen möglich war, ergänzt durch die vielfältigen Möglichkeiten der immer wichtiger werdenden Datenübertragung.

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 implementiert.

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

### 3.1 Teledienste

- **Individual Call (Individualruf):** Dieser Dienst entspricht der Verbindung in einem öffentlichen Mobilfunksystem (GSM, UMTS, LTE). 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 Direct Mode kommunizieren zwei oder mehrere Mobilstationen direkt miteinander, ohne Einbezug einer Basisstation (Walkie-Talkie).
- **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:** Diese Funktion ermöglicht 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 [4]).

### 3.2 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 (TETRA 1):**
  - Ungeschützte Datenübertragung:  $n \times 7,2 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ oder } 4$ )
  - Geschützte Datenübertragung:  $n \times 4,8 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ oder } 4$ )
  - Stark geschützte Datenübertragung:  $n \times 2,4 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ oder } 4$ )

( $n$  = Anzahl belegter Zeitschlitze pro Verbindung).



- **Paketvermittelte Datendienste:**
  - **TCP/IP Access:** Dieser wichtige Datendienst erlaubt den Mobilstationen einen Zugang zum Internet oder zu Servern, die das TCP/IP-Protokoll unterstützen. Mit TEDS (siehe Kapitel 2.2.2) beträgt in der Kanalbandbreite von 50 kHz die typische Datenrate 80 kBit/s.

### 3.3 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 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.

## 4 Zusammenfassung und Vergleich mit Tetrapol

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten technischen Daten der Luftschnittstelle von TETRA kurz zusammengefasst:

**Tabelle 3: Technische Daten der TETRA-Luftschnittstelle**

	TETRA 1		TETRA 2 (TEDS)	
access scheme	TDMA 4 physical channels/RF channel		TDMA 4 physical channels/RF channel	
channel bandwidth (CBW)	25 kHz		25 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 150 kHz	
duplex separation	10 MHz, 45 MHz		10 MHz, 45 MHz	
modulation class	phase modulation		Multi-Carrier filter-bank based QAM	
modulation type	$\pi/4$ -DQPSK		4-QAM, 16-QAM, 64-QAM	
peak-to-average power ratio (PAPR)	3.2 dB		up to 11 dB	
modulation rate	36 kbit/s		2'400 symbols/s/subcarrier	
max. user bit rate (1 timeslot)	<i>high protected:</i>	2.4 kbit/s	<i>4-QAM, r = 1/2, CBW = 50 kHz:</i>	6.5 kbit/s
	<i>low protected:</i>	4.8 kbit/s	<i>16-QAM, r = 1/2, CBW = 50 kHz:</i>	12.8 kbit/s
	<i>no protected:</i>	7.2 kbit/s	<i>64-QAM, r = 1/2, CBW = 50 kHz:</i>	19.3 kbit/s
max. user bit rate (4 timeslots)	<i>high protected:</i>	9.6 kbit/s	<i>4-QAM, r = 1/2, CBW = 150 kHz:</i>	86 kbit/s
	<i>low protected:</i>	19.2 kbit/s	<i>16-QAM, r = 1/2, CBW = 150 kHz:</i>	173 kbit/s
	<i>no protected:</i>	28.8 kbit/s	<i>64-QAM, uncoded, CBW = 150 kHz:</i>	518 kbit/s
typical user bit rate (4 timeslots)	<b>16 kbit/s</b>		<i>CBW = 50 kHz:</i>	<b>80 kbit/s</b>
			<i>CBW = 150 kHz:</i>	<b>250 kbit/s</b>
nominal transmit power user equipment	0.56 - 30 W (typically 1 W)		0.18 - 30 W (typically 1 W)	
transmit power base station	0.6 - 40 W (typically 25 W)		0.6 - 40 W (typically 10 W)	
cell range suburban (400 MHz) [2]	5.2 km		<i>64-QAM, r = 2/3, CBW = 50 kHz:</i>	2.4 km

Für die Berechnung des Zellenradius in Tabelle 3 wurde für TEDS bei der Mobilstation die gleiche Sendeleistung wie für TETRA 1 eingesetzt (1 W). Möglicherweise muss aber bei TEDS die Sendeleistung aufgrund der grossen Amplitudenschwankungen des Signals reduziert werden, damit die Ausserbandaussendungen den Grenzwert nicht überschreiten.

TETRA und Tetrapol sind die beiden bekanntesten Systeme für digitalen Bündelfunk in Europa und trotz des ähnlich lautenden Namens sehr unterschiedlich aufgebaut. TETRA wurde, wie oben beschrieben, vom anerkannten europäischen Standardisierungsinstitut ETSI in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt. Tetrapol hingegen ist eine proprietäre Spezifikation der Firma Matra Communication (heute EADS) und weder eine europäische noch eine internationale Norm. Tetrapol ist vor allem für die Bedürfnisse von Sicherheitsorganen ausgelegt und in diesem Marktsegment recht erfolgreich. Ein paar Vor- und Nachteile von TETRA verglichen mit Tetrapol sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

**Tabelle 4: Vor- und Nachteile von TETRA verglichen mit Tetrapol**

Vorteile von TETRA verglichen mit Tetrapol	Nachteile von TETRA verglichen mit Tetrapol
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Datenraten von TETRA sind deutlich grösser als diejenigen von Tetrapol (mit TEDS, 4 Zeitschlitz und 50 kHz Kanalbandbreite ca. um Faktor 20).</li> <li>▪ Sprache und Daten können bei TETRA gleichzeitig übertragen werden.</li> <li>▪ Duplexbetrieb ist bei TETRA dank dem Kanalzugriffverfahren 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 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>▪ Mit TETRA Release 2 (TEDS) sind mit der Multi-Carrier-Technik in einer Bandbreite von 150 kHz theoretische Datenraten von über 500 kBit/s und typische Datenraten von 250 kBit/s möglich geworden. TETRA ist damit ein Wideband-System.</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 gleichen Sendespitzenleistungen). TETRA braucht daher etwa die doppelte Anzahl Basisstationen wie Tetrapol, um ein bestimmtes Gebiet zu versorgen.</li> <li>▪ Die unerwünschten Ausserbandaussendungen sind bei TETRA grösser als bei Tetrapol. Frequenzuteilung ist schwieriger. Es müssen möglichst ganze Frequenzblocks und nicht Einzelfrequenzen zugeteilt werden.</li> <li>▪ Gleichwellenfunk ist bei TETRA schwieriger zu realisieren und braucht Endgeräte mit leistungsfähigen Equalizern (MS Class E).</li> <li>▪ Geräte mit TDMA-Kanalzugriff wie bei TETRA weisen tendenziell grössere Sendespitzenleistungen auf und können hörbare niederfrequente Störungen in elektro-akustischen Geräten induzieren.</li> </ul>

## Abkürzungen

BAKOM	Bundesamt für Kommunikation
BER	Bit Error Rate
CBW	Channel Bandwidth
D8PSK	Differential 8 Phase Shift Keying
DL	Downlink
DMO	Direct Mode Operation
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (abgestrahlte Sendeleistung)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frequency Division Duplex
GSM	Global System for Mobile Communications
LLC	Logical Link Control
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MOS	Mean Opinion Score
NB	Narrowband
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PAMR	Public Access Mobile Radio
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PDO	Packet Data Optimised
PMR	Private Mobile Radio
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TEDS	TETRA Enhanced Data Service
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V+D	Voice plus Data
WB	Wideband (400 - 500 kBit/s)

## Literatur

- [1] ETSI TS 100 392-2: Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI). (2013)
- [2] ETSI TR 102 580: Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Release 2; Designer's Guide; TETRA High-Speed Data (HSD); TETRA Enhanced Data Service (TEDS). (2007)
- [3] Ketterling, Hans-Peter: Introduction to Digital Professional Mobile Radio, Boston. (2004)
- [4] ETR 120: ETSI Technical Report; TETRA Voice plus Data (V + D); Open channel. (1994)