



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

"Faktenblatt" Tetrapol

1 Einführung

Tetrapol ist ein digitales, zelluläres Bündelfunksystem für Sprach- und Datenübertragung. Ursprünglich wurde Tetrapol¹ von *Matra Communication*, Frankreich, entwickelt. Heute wird die Tetrapol-Technologie von zwei Organisationen unterstützt und weiterentwickelt: vom Tetrapol-Forum (vorwiegend Hersteller) und vom Tetrapol User's Club (Benutzerorganisationen). Erste Kunden für Tetrapol waren die Gendarmerie (Mitte 1992) und die Polizei (Anfang 1995) in Frankreich. Im Sommer 2000 sind bereits 45 Tetrapol-Netze im Aufbau begriffen oder in Betrieb, mit einer versorgten Gesamtfläche von 650'000 km² und einer Teilnehmerzahl von 250'000².

Digitale Bündelfunksysteme sind moderne Funksysteme für private und öffentliche Betriebsfunkanwendungen und für Sicherheitsfunkanwendungen (PMR/PAMR³). 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 Funksysteme 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).

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

Tetrapol darf nicht mit dem fast gleichnamigen TETRA verwechselt werden. TETRA wurde vom anerkannten europäischen Standardisierungsinstitut für Telekommunikation (ETSI) – in Zusammenarbeit mit der Industrie – entwickelt und ist somit der einzige anerkannte Standard für digitale Bündelfunksysteme in Europa. Eine kleine Gegenüberstellung von Tetrapol und TETRA ist im Kapitel 2 ersichtlich.

In der Schweiz wurde für das neue nationale Sicherheitsnetz Funk, POLYCOM, die digitale Bündelfunktechnologie Tetrapol gewählt.

¹ damals hiess das System noch "Matracom 9600".

² Tetrapol News, No. 14, Juli 2000.

³ 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.

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 Europa wird auf 10 Millionen geschätzt⁴. 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%⁵. 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.

Diese Zahlen machen den Lärm verständlich, der von der Auseinandersetzung zwischen den beiden führenden Systemen in Europa, Tetrapol und TETRA, ausgeht.

Gemäss Angaben des Tetrapol-Forum's sind im Sommer 2000 bereits 45 Tetrapol-Netze im Aufbau begriffen oder in Betrieb, mit einer versorgten Gesamtfläche von 650'000 km² und einer Teilnehmerzahl von 250'000⁶.

Schätzungen gehen davon aus, dass bis im Jahre 2003 ca. 19% des digitalen PMR-Marktes in Europa mit der Technologie von Tetrapol bedient werden. Der weitaus grössere Teil, nämlich ca. 80% der Benutzer, wird das System TETRA benutzen⁷.

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.⁸

3 Konzessionen in der Schweiz

Der Tetrapol-Standard wird in der Schweiz benützt um ein nationales Sicherheitsnetz Funk aufzubauen. Realisiert wird das Netz von Siemens, betrieben durch POLYCOM. Bei POLYCOM handelt es sich um eine geschlossene Benutzergruppe, die ein Netz zum Eigengebrauch betreibt.

Potentielle Teilnehmer am Polycom-Funknetz sind Organisationen, die ein gemeinsames Bedürfnis zur Kommunikation in ausserordentlichen Lagen aufweisen. Der Teilnehmerkreis ist im wesentlichen identisch mit den in Artikel 57 der Verordnung über Fernmeldedienste (FDV) aufgeführten Organen, die berechtigt sind, aus den in Artikel 56 FDV erwähnten Leistungen Nutzen zu ziehen, nämlich:

- a. Armee, Zivilschutz, wirtschaftliche Landesversorgung und zivile Führungsstäbe;
- b. Polizei, Feuerwehr sowie diejenigen Organe, die vom Gemeinwesen mit Rettungs- und Sanitätsaufgaben betraut sind;
- c. die Organe, die nach Artikel 67 des Militärgesetzes zur Hilfeleistung an zivile Behörden herangezogen werden können.

⁴ Funkschau 5/98, S. 80 ff.

⁵ Tetrapol PAS Conversion by ETSI, Explanatory report, Part 1.

⁶ Tetrapol News, No. 14, Juli 2000.

⁷ 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

⁸ Siehe auch: ERC Report 52, "Methodology for Assessment of PMR Systems in terms of Spectrum Efficiency, Operation and Implementation".

Das BAKOM erteilt jeder teilnehmenden Organisation eine eigene Betriebsfunkkonzession für die über das Netz POLYCOM betriebenen Mobil- und Fixstationen. Für die gemeinsam betriebene Netz-Infrastruktur wird der Betreibergesellschaft POLYCOM, in der alle teilnehmenden Organisationen zusammengeschlossen sind, ebenfalls eine Betriebsfunkkonzession erteilt.

Ein erstes Teilnetz wurde im Herbst 2000 im Kanton Tessin durch das Grenzwachtkorps in Betrieb genommen.

4 Dienste

Tetrapol bietet eine reichhaltige Palette von Diensten an, welche in öffentlichen Mobilfunksystemen teilweise (noch) nicht vorhanden sind. Die untenstehende Aufzählung ist nicht vollständig. Für weitere Informationen wird auf die Tetrapol-Spezifikationen (Part 1-2: "Voice & Data Services in Network and Direct mode") verwiesen (siehe auch Kapitel 6).

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. Um am Gespräch teilzunehmen, muss der Teilnehmer lediglich die Nummer der "Talk group" eingeben. Die Nummern der zu einer bestimmten Zeit aktiven "Talk groups" wird auf dem Kontrollkanal ausgesendet und ist allen Teilnehmern im Netz bekannt.

Datendienste:

- **Paging:** Von einem Dispatcher können kurze Meldungen an die Mobilstation gesendet werden. Die Meldungen werden nicht quittiert.
- **Status Transmission:** Sehr kurze, vordefinierte Meldungen können vom Dispatcher zu den Mobilstationen und umgekehrt, oder zwischen den Mobilstationen übermittelt werden.
- **Short Data Messaging:** Dieser Datendienst erlaubt den Teilnehmern sehr schnell kurze Meldungen auszutauschen.
- **X.25 Packet Data Services:** Dieser Datendienst ermöglicht eine X.25-Verbindung zwischen zwei Endgeräten aufzubauen. Es besteht auch die Möglichkeit, eine Verbindung von einer Mobilstation zu einem PDN (Packet Data Network) einzurichten.
- **TCP/IP Access:** Dieser Datendienst erlaubt den Mobilstationen einen Zugang zum Internet oder zu Servern, die das TCP/IP-Protokoll unterstützen.

Zusatzdienste:

- **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.

5 Umweltauflagen

5.1 Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NIS)

Sowohl die Sendeantennen der Basisstationen als auch die 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 Tetrapol-Anlagen, die im vorgesehenen Frequenzbereich zwischen 380 und 500 MHz arbeiten, 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).

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

Tetrapol wurde hauptsächlich für das wichtige und anspruchsvolle Marktsegment «Sicherheitsfunktwendungen» entwickelt.

Die Entwicklung von Tetrapol wurde aufgrund einer Ausschreibung der französischen Gendarmerie für ein nationales digitales Bündelfunksystem im Jahre 1987 gestartet. Als Kanalzugriffsverfahren wurde **FDMA** (Frequency Division Multiple Access) gewählt und Matra Communication wurde mit dem Netzaufbau beauftragt. FDMA ist das klassische Kanalzu-

griffsverfahren, bei welchem jeder Benutzer für eine Verbindung eine ganz bestimmte Frequenz zugewiesen erhält. Mit dem Zugriffsverfahren FDMA wird – unter sonst gleichen Bedingungen – eine grössere Reichweite und somit eine bessere Versorgung von grossen Flächen als mit anderen Kanalzugriffsverfahren (z.B. TDMA) erreicht.

In jeder Zelle wird auf einem bestimmten Träger von der Basisstation dauernd ein Kontrollkanal ausgesendet. Dieser Kontrollkanal wird dazu verwendet, um den Mobilgeräten die Systemdaten des Netzes zu übermitteln.

Tetrapol kann grundsätzlich auf Frequenzen zwischen 70 - 520 MHz eingesetzt werden. In der Praxis werden aber nur die typischen, für PMR ausgewiesenen Frequenzen im 80-, 160- und 400-MHz-Band belegt (siehe Kapitel 7).

Wie bei den meisten Funksystemen wird auch bei Tetrapol das Frequenzduplexverfahren angewendet. 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 welchem das System betrieben wird. Die Endgeräte von Tetrapol (wie der meisten PMR-Systeme) arbeiten im allgemeinen im Halbduplex-Mode, d.h. es kann nicht gleichzeitig gesendet und empfangen werden.

Als Modulationsverfahren wird GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) angewendet. Dieses Modulationsverfahren wird auch bei GSM verwendet und hat den Vorteil, dass einfache und relativ billige Sender eingesetzt werden können. Auch die Ausserbandaussendungen können mit diesem Verfahren stark reduziert werden.

Die Tetrapol-Spezifikationen können auf folgender Adresse eingesehen bzw. heruntergeladen werden: <http://www.tetrapol.com/technology/index.html>

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

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

<i>Vorteile von Tetrapol verglichen mit TETRA</i>	<i>Nachteile von Tetrapol verglichen mit TETRA</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die maximal möglichen Zellenradien von Tetrapol sind bis zu 50% grösser als von TETRA, bei gleicher <u>Sendespitzenleistung</u>. Tetrapol braucht unter dieser Voraussetzung nur etwa die halbe Anzahl Basisstationen wie TETRA, um ein gewisses Gebiet abzudecken. Dieser Vorteil trifft allerdings nur zu, solange das Verkehrsaufkommen klein ist und nur solange die Sendespitzenleistungen und nicht die mittleren Sendeleistungen gleich sind. ▪ Kanalraster ist 12,5 kHz, d.h. gute Koexistenz mit bestehenden Systemen und geringe Ausserbandaussendungen (erfüllt ETS 300 113). ▪ Gleichwellenfunk ist mit Tetrapol einfacher zu realisieren. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Duplexbetrieb ist bei Tetrapol nur mit einigem Aufwand möglich (Antennenweiche in der Mobilstation). ▪ Die Datenraten von Tetrapol sind deutlich kleiner als diejenigen von TETRA (je nach Kanalbündelung von TETRA bis um den Faktor 4). ▪ Die Spektrumseffizienz von Tetrapol ist kleiner als diejenige von TETRA (je nach Umgebung um den Faktor 1,16 bis 2,0) ▪ TETRA ist ein anerkannter Europäischer Standard, wohingegen Tetrapol bis anhin noch nicht als ETSI-Standard akzeptiert wurde.

In der untenstehenden Tabelle 2 sind die wichtigsten Funkparameter von Tetrapol zusammengefasst.

Tabelle 2: Wichtige Funkparameter von Tetrapol

Parameter	Wert
Kanalraster	10 kHz, 12,5 kHz ^{b)}
Sendeleistung Basisstation pro Trägerfrequenz (typisch)	25 W ERP
Sendeleistung Mobilgerät	1 W, 2 W, 10 W ^{e)}
Empfängerempfindlichkeit statisch (BER = 1,5%)	MS: -119 dBm BS: -121 dBm
Empfängerempfindlichkeit dynamisch (TU50; BER = 1,5%)	MS: -111 dBm BS: -113 dBm
Betriebsart	Semiduplex ^{c)}
Kanalzugriffsverfahren	FDMA
Modulation	GMSK, BT = 0.25
Kanalbitrate	8 kBit/s
Maximale Datenrate, ungeschützt (Gross bit rate)	7,6 kBit/s
Netto Datenrate	Protected: 4,8 kBit/s Non-protected: 7,2 kBit/s
Sprachkodierung	RP-CELP; 6 kBit/s
Spektrumseffizienz in interferenzbegrenzter Umgebung (viel Verkehr, viele Zellen)	43 Bit/(s*kHz*Zelle)
Spektrumseffizienz in rauschbegrenzter Umgebung (eine isolierte Zelle)	192 Bit/(s*kHz)
Reichweite ^{f)}	Rural: ca. 20 km ^{a)} Suburban: ca. 6 km
Koexistenzstandard ^{d)}	ETS 300 113
Bemerkungen:	
a) Im Report ITU-R M.2014 "Spectrum efficient digital land mobile systems for dispatch traffic" wird für die Umgebung Mobile/Rural ein maximaler Zellenradius von 28 km angegeben.	
b) In der Schweiz beträgt das Kanalraster für Tetrapol 12,5 kHz.	
c) Duplex mit einigem Aufwand (Antennenweiche in der Mobilstation) möglich.	
d) Dieser Standard beinhaltet lediglich die Spektrumsparameter auf der Luftschnittstelle; er definiert keine Protokolle und Dienste, die die Interoperabilität der Geräte von verschiedenen Herstellern garantieren würden.	
e) Handfunkgeräte haben typischerweise eine Ausgangsleistung von 2 W.	
f) Dynamisch; f = 400 MHz; P _{MS} = 2 W, Interferenzmarge = 1 dB; σ_s (shadowing) = 6 dB; Versorgungssicherheit am Zellenrand = 90%; Antennenhöhe BS = 30 m; Antennenhöhe MS = 1,5 m; Ausbreitungsmodell SE21; Antennengewinne und Zuleitungsverluste = 0 dB.	

7 Frequenzen

In der Schweiz wird zur Zeit ein landesweites Sicherheits- und Rettungsfunknetz (Polycom) in den Frequenzteilbereichen 380 - 383/390 - 393 MHz aufgebaut (siehe auch Kapitel 8). Es ist nicht vorgesehen, in den anderen für Bündelfunk harmonisierten Bereichen 385 - 390/395 - 400 MHz, 410 - 430 MHz, 450 - 470 MHz und 870 - 876/915 - 921 MHz ein weiteres landesweites Tetrapol-Netz zu erstellen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass bei Bedarf Frequenzen aus diesen Bereichen für lokale Tetrapol-Netze (z.B. auf Flughäfen) 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 Gesprächs-

zeiten. 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.

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).

Pro Basisstation werden bei Tetrapol-Netzen typischerweise 4 bis 8 (erweiterbar bis 16) Radiokanäle installiert⁹. Ein Kanal ist dabei der Kontrollkanal und dient zur Übertragung der Systeminformationen von der Basisstation zu den Mobilstationen. Die restlichen Kanäle sind Verkehrskanäle und werden zur Übertragung von Sprache und Daten verwendet.

Tetrapol kann entweder im Netzwerk- oder im Direct-Mode betrieben werden. Beim Netzwerk-Mode ist die Mobilstation mit der Basisstation (Infrastruktur) verbunden und wird von dieser kontrolliert. Wenn zwei Mobilstationen miteinander kommunizieren, wird in diesem Mode die Verbindung immer über eine Basisstation geführt. Beim Direkt-Mode kommunizieren zwei oder mehrere Mobilstationen direkt miteinander, ohne Einbezug einer Basisstation (Walky-Talky). Daher kann der Direkt-Mode auch in Gebieten eingesetzt werden, wo keine Funkabdeckung vorhanden ist (z.B. in einem Tunnel oder im Untergeschoss eines Gebäudes).

Bei kleinem Verkehrsaufkommen und einer grossflächigen Versorgung kann bei Tetrapol 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 Modulationssignals 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.

⁹ Siehe: ACROPOL, the French police radiocommunication network, in "Commutation & Transmission" 3/1994.

Abkürzungen

BAKOM	Bundesamt für Kommunikation
BER	Bit Error Rate (Bitfehlerrate)
BPUK	Schweizerische Bau-, Planungs- und Umweltschutzdirektorenkonferenz
BS	Basisstation
BT	Relative Filterbandbreite
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
ERC	European Radiocommunications Committee
ERP	Effective Radiated Power (äquivalente Strahlungsleistung)
ETS	European Telecommunication Standard
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDV	Verordnung über Fernmeldedienste
GMSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GSM	Global System for Mobile communications
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
PDN	Packet Data Network
PMR	Private Mobile Radio (oder Business Private Radio)
RP-CELP	Regular Pulse - Code Excited Linear Predictive
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SE21	ERC Working Group Spectrum Engineering, Project Team 21
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