



MAGISTERARBEIT

Nationale Implementierungen von TETRA-Netzen im europäischen Raum

Ausgeführt am Institut für
Gestaltungs- und Wirkungsforschung
der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von
O.Univ.Prof. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Fleissner

durch
Bernhard Bugelmüller, Bakk. rer. soc. oec.

Im Frauental 15/3/5
2100 Korneuburg

Kurzfassung

Zur Harmonisierung des europäischen Bündelfunkmarktes beschloss das Europäische Institut für Telekommunikationsnormen ETSI bereits im Jahr 1988 einen Standard für ein paneuropäisches, digitales Bündelfunknetz zu erarbeiten. Ende 1991 wurde der Begriff TETRA (Terrestrial Trunked Radio) eingeführt.

TETRA ist in erster Linie für den professionellen Mobilfunk ausgelegt und eignet sich durch seine Dienste und Merkmale besonders für den Einsatz durch Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS). So werden beispielsweise die erhöhten Security-Anforderungen dieser Nutzergruppen durch ausgeklügelte Autorisierungsprozeduren und integrierte Ende-zu-Ende-Verschlüsselung bestens erfüllt. Weiters tragen Bündelfunksysteme wie TETRA durch die Optimierung der Frequenzausnutzung und durch die Erhöhung der Kanalnutzung zur Verbesserung der Dienstgüte sowohl für Endbenutzer als auch für Netzbetreiber bei.

Aus diesen Gründen werden im europäischen Raum immer mehr nationale Behördenfunksysteme, auf dem TETRA-Standard basierend, errichtet. Dadurch werden einerseits die bestehenden, in den meisten Fällen veralteten, analogen Systeme ersetzt und andererseits die operativen Anforderungen, die in den Schengener-Katalogen von 1992 bis 1996 definiert wurden, erfüllt. Dies konnte während des Dreiländerprojekts, welches zur Erprobung grenzüberschreitender Sprach- und Datenkommunikation im Grenzgebiet Lüttich, Aachen und Maastricht durchgeführt wurde, belegt werden.

Auch in Österreich startete die Bundesregierung Mitte der neunziger Jahre mit Überlegungen zur Realisierung eines bundesweiten digitalen Bündelfunksystems für alle so genannten Blaulichtorganisationen. Nach dem Scheitern des Projekts „Behördenfunknetz ADONIS“ soll nun durch das Projekt „Digitalfunk BOS Austria“ die Fertigstellung eines bundesweiten TETRA-Netzes gelingen. In manchen Bundesländern, wie beispielsweise Tirol, wird das System bereits seit einiger Zeit von den Polizeikräften genutzt. Was die landesweite Integration von Feuerwehren und Rettungsorganisationen betrifft, muss man allerdings feststellen, dass vorher noch einige Unklarheiten auszuräumen sind.

Obwohl durch die beschränkten Nutzergruppen kein kommerzieller Siegeszug wie im Fall von GSM zu erwarten ist, geht man weiterhin von einem starken Wachstum auf dem TETRA-Markt aus. Die Zukunft von TETRA wird vermutlich durch die Entwicklung neuer Funktionen, wie zum Beispiel im Bereich der Biometrie, und die Erneuerung des PMR-Sektors (*Private Mobile Radio*) geprägt sein.

Inhalt

1	Einleitung	6
1.1	Fragestellung und Zielsetzung	6
1.2	Aufbau der Arbeit	6
2	Grundlagen digitaler Mobilfunksysteme	8
2.1	Richtungstrennung	8
2.2	Symmetrie	9
2.3	Vielfachzugriffsverfahren	10
2.3.1	Frequenzvielfachzugriff (FDMA)	10
2.3.2	Zeitvielfachzugriff (TDMA)	11
2.3.3	Codevielfachzugriff (CDMA)	11
2.3.4	Raumvielfachzugriff (SDMA)	12
2.4	Übertragungsarten	12
3	Der TETRA-Standard	14
3.1	Charakteristische Dienste und Merkmale	16
3.1.1	Standarddienste	17
3.1.2	Zusatzdienste	19
3.1.3	Sicherheit	21
3.1.3.1	Authentifizierung über die Luftschnittstelle	22
3.1.3.2	Verschlüsselung	23
3.1.4	Dynamische Abläufe	25
3.1.4.1	Handover	25
3.1.4.2	Roaming	25
3.1.4.3	Migration	26
3.1.4.4	Registrierung	26
3.1.4.5	Verbindungsaufbau	26
3.2	Architektur des TETRA-Systems	27
3.2.1	Mobile Station	28
3.2.1.1	Direct Mode Mobile Station	29
3.2.2	Line oder Dispatcher Station	29

3.2.3 Switching & Management Infrastructure	29
3.2.4 Network Management Unit	30
3.2.5 Gateway	30
3.3 Schnittstellen des TETRA-Systems	30
3.3.1 Terminal Equipment Interface	32
3.3.2 Trunked Mode Air Interface	33
3.3.3 Direct Mode Air Interface	36
3.3.4 Line Station Interface	38
3.3.5 Inter System Interface	38
3.3.6 Network Management Interface	39
3.3.7 Signalisierungsprotokolle an den Schnittstellen	39
3.4 Alternative Technologien verglichen mit TETRA	40
3.4.1 Öffentliche Mobilfunknetze	40
3.4.1.1 Global System for Mobile Communication (GSM)	41
3.4.1.2 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)	42
3.4.1.3 Unterschiede zu TETRA	43
3.4.2 GSM-BOS	47
3.4.3 Tetrapol	52
4 Die Verbreitung von TETRA in Europa	57
4.1 Vorgaben und Initiativen der Europäischen Union	57
4.1.1 Schengener Abkommen	57
4.1.2 Das Dreiländerprojekt	58
4.2 Belgien: ASTRID	60
4.2.1 Historische Entwicklung	60
4.2.2 Die Betreiberorganisation	61
4.2.3 Das Funknetz	63
4.2.3.1 Funknetz und Funkrufnetz	64
4.2.3.2 Die provinziellen Backbones	65
4.2.3.3 Der provinzielle Knotenpunkt und die Meldezentrale	65
4.2.3.4 Das interprovinzielle Backbone	66
4.2.3.5 Das ASTRID Service Center	66
4.3 Die Niederlande: C2000	66
4.4 Die Situation in Deutschland	67
4.4.1 Pilotversuch Berlin-Brandenburg	69

4.4.2 Pilotprojekt Aachen.....	69
4.4.3 TETRA in Gorleben	70
4.4.4 Aktuelle Entwicklung der Ausschreibung	71
4.5 Großbritannien: O2 Airwave	72
5 Das TETRA-Netz in Österreich	76
5.1 Historische Entwicklung	76
5.2 Projekt „Behördenfunknetz ADONIS“	77
5.2.1 Zeitlicher und inhaltlicher Projektablauf	78
5.2.2 Zusammenfassung und Empfehlungen des Österreichischen Rechnungshofes.....	83
5.3 Projekt „Digitalfunk BOS Austria“	85
5.3.1 Anforderungsanalyse	86
5.3.2 Zeitlicher Ablauf	87
5.3.3 Eingesetzte Hardware	88
5.3.3.1 Funkstationen.....	88
5.3.3.2 Verfügbare Funkgeräte	89
5.3.4 Testbetriebe	91
5.3.5 Die Integration von Rettungsorganisationen am Beispiel LEBIG	92
5.3.6 Probleme bei der Integration der Feuerwehren	94
5.4 Kosten/Nutzen-Aspekte.....	96
5.4.1 Herstellungskosten und laufende Kosten	97
5.4.2 Praktischer Nutzen von TETRA.....	98
5.5 Aktuelles	99
6 Ausblick	101
6.1 Der TETRA-Markt und seine zukünftige Entwicklung.....	101
6.2 Zusätzliche Funktionen von TETRA-Netzen	103
6.3 Ein alternatives Anwendungsgebiet des TETRA-Standards	104
Abkürzungsverzeichnis	106
Quellenverzeichnis	110

1 Einleitung

1.1 Fragestellung und Zielsetzung

In vielen Ländern im europäischen Raum sind Bestrebungen zur Errichtung moderner digitaler Mobilfunksysteme für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben feststellbar. Die dominierende Technologie stellt dabei Digitalfunk nach dem europäischen TETRA-Standard dar. Doch was verbirgt sich konkret hinter diesem Standard? Welche technischen Vorteile bringt dessen Verwendung mit sich? Welche spezifischen Eigenschaften haben TETRA-Netze? Gibt es Alternativen zu TETRA? – Diese und ähnliche Fragen sollen durch die vorliegende Magisterarbeit beantwortet werden.

Ziel ist es außerdem, einen Einblick in ausgewählte nationale Projekte zur Implementierungen von Behördenfunksystemen nach dem TETRA-Standard in Europa zu liefern. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Entstehung, der Organisation und dem Fortschritt dieser Projekte. Besonderes Interesse liegt auch auf der Beantwortung der Fragen, welche Vorgaben und Initiativen der Europäischen Union die Verbreitung des TETRA-Standards beeinflussen, und wie sich die Situation zur Errichtung eines bundesweiten digitalen Behördenfunknetzes in Österreich darstellt.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Ausarbeitung ist in sechs Kapitel unterteilt. Nach dem einleitenden Kapitel 1 wird in Kapitel 2 auf die elementaren Grundlagen digitaler Mobilfunksysteme eingegangen. Es werden Themen wie Richtungstrennung, Symmetrie, Vielfachzugriff und Übertragungsarten zum besseren Verständnis der Folgekapitel erläutert.

Kapitel 3 befasst sich ausführlich mit dem TETRA-Standard. Es werden die charakteristischen Dienste und Merkmale beschrieben und die Architektur von TETRA-Systemen mit den enthaltenen Schnittstellen dargestellt. Am Ende dieses Kapitels wird auf die relevanten Unterschiede zwischen den öffentlichen Mobilfunknetzen GSM/UMTS und TETRA eingegangen, und es werden zwei alternative Technologien zu TETRA – Tetrapol und GSM-BOS – vorgestellt.

In Kapitel 4 wird auf die Verbreitung von TETRA im europäischen Raum eingegangen. Zu Beginn werden das Schengener Abkommen sowie das Dreiländerprojekt und damit der Einfluss der Europäischen Union auf die Bestrebungen einzelner Länder beschrieben. Anschließend werden vier

europäische Staaten und ihre TETRA-Projekte beleuchtet. Nicht alle Projekte sind gleich weit vorangeschritten. Während Belgien, die Niederlande und Großbritannien bereits über funktionsfähige Netze verfügen, ist in Deutschland die Ausschreibung zur Errichtung des Behördenfunknetzes noch nicht ganz abgeschlossen. Dennoch gibt es bereits erste Erfahrungen mit regionalen Pilotprojekten wie zum Beispiel in Berlin-Brandenburg und Aachen.

Kapitel 5 befasst sich mit der Situation in Österreich. Nachdem das Projekt „Behördenfunk ADONIS“ gescheitert ist, wurde das Projekt „Digitalfunk BOS Austria“ gestartet, um doch noch ein bundesweites digitales Behördenfunknetz für alle Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben in Österreich zu schaffen. Nach der rückblickenden Betrachtung von ADONIS werden die Entstehung, die Planung und der Status des aktuellen Projekts detailliert dargestellt. Es werden positive Aspekte, wie erfolgreich absolvierte Testbetriebe beschrieben, aber auch nicht zu vernachlässigende Schwierigkeiten bei der Integration von Rettungsorganisationen und Feuerwehren aufgezeigt.

Das letzte Kapitel soll einen realistischen Ausblick in die Zukunft geben. Es befasst sich mit dem TETRA-Markt, seiner zu erwartenden Entwicklung und mit der Entwicklung der TETRA-Netze an sich. Dazu werden zuerst Vorteile durch zusätzliche Funktionen bzw. Funktionserweiterungen und anschließend ein weiteres Anwendungsgebiet von TETRA vorgestellt.

Am Ende der Arbeit finden sich ein umfassendes Verzeichnis der Abkürzungen, die in dieser Arbeit verwendet werden, sowie das Quellenverzeichnis.

Fachvokabeln, Akronyme, englische Fachausdrücke ohne adäquate deutscher Übersetzung und Eigennamen diverser Organisationen werden *kursiv* dargestellt. Querverweise zu relevanten Kapiteln bzw. Subkapiteln sind unterstrichen. Alle personenbezogenen Bezeichnungen werden aus Gründen der Übersichtlichkeit und einfachen Lesbarkeit nur in einer Geschlechtsform gewählt und gelten gleichermaßen für Frauen und Männer.

2 Grundlagen digitaler Mobilfunksysteme

Systeme zur Übertragung von Sprach- und Dateninformationen an nicht ortsgebundene Benutzer werden Mobilkommunikationssysteme genannt. Die am häufigsten anzutreffende Form derartiger Systeme, so auch in der vorliegenden Magisterarbeit, ist die der zellularen Mobilfunktelefonie. Dabei wird die Gesamtfläche, auf der das entsprechende Netz betrieben wird, in so genannte Funkzellen unterteilt. Diese Zellen werden von einzelnen Basisstationen versorgt. Die Kommunikation der Teilnehmer erfolgt über die Luftschnittstelle (vgl. Walke, 2000a, S.52). In den folgenden Subkapiteln werden nun einige elementare Grundlagen digitaler Mobilfunksysteme erläutert.

2.1 Richtungstrennung

In der Übertragungstechnik wird unterschieden, ob ein Kommunikationssystem Übertragungen nur in eine Richtung, oder gleichzeitig in beide Richtungen, also vom Sender zum Empfänger und umgekehrt, zulässt. In Mobilfunksystemen kommen grundsätzlich drei verschiedene Arten der Richtungstrennung zur Anwendung (vgl. BMI, 2006):

- i. Simplex.
- ii. Halbduplex.
- iii. Vollduplex.

Bei *Simplex* handelt es sich um eine Gesprächsart mit zwei oder mehr Teilnehmern, bei der die Übertragung ausschließlich in eine Richtung erfolgt. Zu einem konkreten Zeitpunkt kann nur ein Teilnehmer sprechen. Gespräche dieser Art werden im TETRA-Netz nicht über die Basisstationen der Infrastruktur, sondern direkt von Endgerät zu Endgerät geführt, dadurch ist die örtliche Reichweite eingeschränkt. Alle Teilnehmer können um Sprechberechtigung ansuchen, dadurch entsteht das typische Wechselsprechen zwischen den Funkgeräten.

Halbduplex ist jene Gesprächsart mit mehreren Teilnehmern, bei der jeder Teilnehmer sowohl senden als auch empfangen darf. Allerdings kann zu einem bestimmten Zeitpunkt nur ein Teilnehmer sprechen. Alle Teilnehmer können um Sprechberechtigung ansuchen. Derartige Gespräche werden über die Basisstationen der TETRA-Infrastruktur geführt.

Als *Vollduplex* bezeichnet man die Gesprächsart mit zwei Teilnehmern, bei der jederzeit in beide Richtungen gesprochen werden kann. Diese Gesprächsart ist

typisch für Telefonie und Gegensprechen und wird bei TETRA durch die Kommunikation über Basisstationen der Infrastruktur angeboten. Es gibt mehrere Möglichkeiten, einen Duplex-Funkkanal bereit zu stellen, wobei in modernen digitalen Mobilfunksystemen vor allem zwei grundlegende Verfahren eingesetzt werden:

- i. Frequenzduplex (*Frequency Division Duplex*, FDD).
- ii. Zeitduplex (*Time Division Duplex*, TDD).

Beim *Frequenzduplexverfahren* erfolgen Senden und Empfangen in unterschiedlichen, getrennten Frequenzbändern. In digitalen Mobilfunksystemen wird das zur Verfügung stehende Frequenzband in zwei Teilbänder, jeweils eines für die Mobilstation und eines für die Basisstation, aufgespalten. Es wird somit ein Teilband dem *Uplink* (zur Basisstation) und eines dem *Downlink* (von der Basisstation) als Sendeband zugeordnet. Die Teilbänder müssen dabei einen genügend großen Bandabstand voneinander aufweisen. FDD kommt sowohl bei GSM und UMTS als auch bei TETRA zum Einsatz.

Beim *Zeitduplexverfahren* erfolgen Senden und Empfangen zwar im selben Frequenzbereich allerdings zeitlich alternierend. Das Umschalten geschieht dabei so häufig, dass die Teilnehmer die Aufteilung des Kanals nicht bemerken. Es ergibt sich eine fast gleichzeitige Duplex-Kommunikation. Durch dieses Verfahren wird eine große Asymmetrie des Datenverkehrs beim Up- und Downlink ermöglicht. Daher eignet sich dieses Verfahren besonders für Datendienste, die wesentlich mehr Daten empfangen als senden. UMTS unterstützt derartige asymmetrische Datendienste und verwendet für diese TDD.

2.2 Symmetrie

Mit der Symmetrie wird beschrieben, welche Bandbreiten einer Verbindung für den Uplink und welche für den Downlink benötigt werden (vgl. Barrionuevo, 2002, S.9):

- *Symmetrische Dienste*: Bei derartigen Diensten wird die gleiche Bandbreite für den Up- und den Downlink benötigt. Ein praktisches Beispiel dafür ist die Sprachtelefonie, da für Sprechen und Hören die gleiche Bandbreite nötig ist.
- *Asymmetrische Dienste*: Diese Dienste zeichnen sich dadurch aus, dass für den Up- und den Downlink verschiedene Bandbreiten nötig sind. Typische asymmetrische Dienste sind Datendienste wie der Internetdienst, da eine wesentlich geringere Bandbreite zur Anfrage von Informationen als zum Download der Daten erforderlich ist.

2.3 Vielfachzugriffsverfahren

Ein Funkkanal wird von mehreren Teilnehmern in einer Zelle gemeinsam genutzt. Um die Kapazität dieses Übertragungsmediums besser ausnutzen zu können, gibt es mehrere Vielfachzugriffsverfahren, die den gemeinsamen Zugriff vieler Teilnehmer auf eine Übertragungsstrecke ermöglichen. Durch derartige Verfahren werden die verfügbaren physikalischen Ressourcen eines Funksystems (die Frequenzbänder) in einzelne Gesprächskanäle aufgeteilt. Die wichtigsten Vielfachzugriffsverfahren sind:

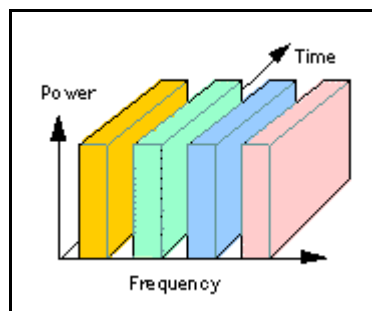
- i. FDMA: Frequency Division Multiple Access (Frequenzvielfachzugriff).
- ii. TDMA: Time Division Multiple Access (Zeitvielfachzugriff).
- iii. CDMA: Code Division Multiple Access (Codevielfachzugriff).
- iv. SDMA: Space Division Multiple Access (Raumvielfachzugriff).

In modernen Mobilfunksystemen werden vor allem FDMA, TDMA und CDMA eingesetzt. Gebräuchlich sind auch Kombinationen von mehreren Verfahren, so kommt zum Beispiel bei GSM eine Kombination aus Frequenz- und Zeitvielfachzugriff zum Einsatz.

2.3.1 Frequenzvielfachzugriff (FDMA)

Beim Frequenzvielfachzugriffsverfahren handelt es sich um das älteste Vielfachzugriffsverfahren. Es wird hauptsächlich in analogen Mobilfunksystemen eingesetzt. Das zur Verfügung stehende Frequenzband wird dabei in gleich große Kanäle zerlegt, wobei jede einzelne Gesprächsverbindung auf einer unterschiedlichen Trägerfrequenz geführt wird (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Darstellung des FDMA-Verfahrens

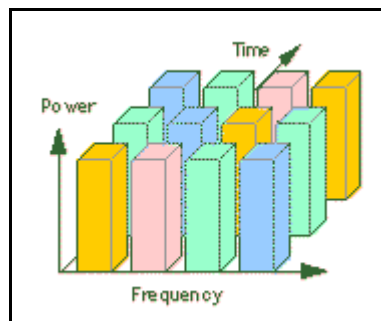


Quelle: International Engineering Consortium, 2005a

2.3.2 Zeitvielfachzugriff (TDMA)

Bei diesem Verfahren wird die gesamte vorhandene Bandbreite zeitlich zwischen den Teilnehmern aufgeteilt. Die Mobilstationen erhalten die Frequenz zu bestimmten Zeitpunkten zyklisch exklusiv zugewiesen. Diese Übertragungszeiten werden *Time Slots* (TS, Zeitschlitz) genannt. Die Anzahl der Zeitschlitz pro Träger hängt von vielen Faktoren, wie zum Beispiel maximal erlaubte Verzögerungszeit, Datenrate, Laufzeitverzögerung zwischen Sender und Empfänger, Modulationsverfahren oder der verfügbaren Bandbreite ab. Auf einer Frequenz senden verschiedene Geräte nacheinander. Jedem Geräte wird dabei ein bestimmter kurzer Zeitschlitz für seine Daten- und Sprachübertragung zugewiesen. Ein TDMA-Gesprächskanal wird daher durch die Folge der zugeordneten Zeitschlitz gebildet (siehe Abbildung 2). Im Normalfall wird nicht die gesamte Bandbreite für einen Zeitschlitz zugewiesen, sondern das Frequenzband wird in Unterbänder und diese wiederum in TDMA-Gesprächskanäle aufgeteilt. Das Zeitvielfachzugriffverfahren wird im digitalen Mobilfunk angewandt und ist ein aufwendigeres Verfahren als FDMA, da es eine hochgenaue Synchronisation zwischen Sender und Empfänger benötigt. Dazu werden von der Basisstation so genannte Referenz- bzw. Pilotsignale ausgesandt (vgl. Walke, 2000a, S.70f).

Abbildung 2: Darstellung des TDMA-Verfahren



Quelle: International Engineering Consortium, 2005b

2.3.3 Codevielfachzugriff (CDMA)

Beim Codevielfachzugriffverfahren wird pro Teilnehmer die gesamte Bandbreite des Systems für die gesamte Dauer der Gesprächsverbindung genutzt. Alle Nutzer einer Zelle verwenden gleichzeitig dasselbe Frequenzband. Um die Signale der einzelnen Teilnehmer trennen zu können, werden sie einzeln codiert. Jedes Signal bekommt einen eigenen Code fest zugewiesen. Das Prinzip des Codevielfachzugriffs beruht auf der Bandspreiz- oder Spreizspektrumtechnik, bei

der das Signal mit Hilfe des zugeordneten Codes auf ein Vielfaches seiner ursprünglichen Bandbreite gespreizt wird. Daher wird der Code auch als *Spreading Code* bezeichnet. Das entstandene breitbandige Signal wird zusammen mit den Signalen der anderen Teilnehmer auf der gleichen Trägerfrequenz über die Luftschnittstelle übertragen. Der Empfänger, dem der Code des Senders bekannt sein muss, bekommt die Summe aller Signale. Mithilfe des Codes wird das Signal beim Empfänger wieder auf seine Originalgröße reduziert. Die anderen Signale bleiben in der breitbandigen Form und tragen zum Rauschpegel des empfangenen Signals bei. Die Kapazität eines CDMA-Systems ist somit durch die Interferenz begrenzt (vgl. Walke, 2000a, S.71).

Der Vorteil des Codevielfachzugriffsverfahrens ist die Codierung der Teilnehmerdaten. Die Daten bleiben vertraulich, und es ist kein kryptographisches Verfahren zum Schutz der übertragenen Daten mehr nötig. Weiters sind CDMA-Systeme störsicherer als Systeme, in denen FDMA oder TDMA zum Einsatz kommt, sowohl in Hinblick auf atmosphärische, als auch auf gezielte Störungen der Kommunikation. Dies liegt vor allem daran, dass Störsender im Allgemeinen nicht genug Sendeleistung besitzen, um das gesamte Frequenzspektrum zu überdecken. Auch besitzen sie nicht genug Informationen, um eine bestimmte Verbindung zu finden. Ein weiterer Vorteil von CDMA-Systemen ist, dass keine Zeitsynchronisation (wie beispielsweise bei TDMA) nötig ist, da die Sender aufgrund der Codierung selbstsynchronisierend sind (vgl. Barrionuevo, 2002, S. 11).

2.3.4 Raumvielfachzugriff (SDMA)

Bei diesem Verfahren werden Frequenzen in geeigneten räumlichen Abständen wiederholt. Dadurch kann theoretisch trotz eines begrenzten Frequenzspektrums unendlich viel Verkehr getragen werden, sofern eine unendlich ausgedehnte Fläche zur Verfügung steht. Dies wird durch die Abnahme der Feldstärke eines Funksignals mit wachsendem Abstand vom Sender ermöglicht. Bei einem Abstand, der groß genug ist, ist das Signal so schwach, dass die gleiche Frequenz wieder verwendet werden kann, ohne dass Störungen durch Interferenzen entstehen (vgl. Barrionuevo, 2002, S.12).

2.4 Übertragungsarten

Grundsätzlich gibt es in mobilen Mobilfunksystemen zwei Arten, Daten zu übertragen (vgl. Barrionuevo, 2002, S.12f):

- i. Kanalvermittelte Übertragung.
- ii. Paketvermittelte Übertragung.

Bei der *kanalvermittelten Übertragung* wird die Verbindung zwischen dem Sender und dem Empfänger für den gesamten Zeitraum des Kommunikationsprozesses aufrechterhalten. Der Übertragungskanal wird somit für die gesamte Dauer der Verbindung belegt, auch für Perioden, in denen gar keine Datenübertragung stattfindet. Die Gebührenverrechnung erfolgt im Normalfall nach Zeit. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass nicht für jedes einzelne Datenobjekt ein Pfad zum Empfänger bestimmt werden muss.

Bei der *paketvermittelten Übertragung* wird die zu übermittelnde Information in einzelne Datenpakete geteilt. Jedes dieser Pakete wird mit einer Zieladresse versehen, und das Kommunikationsnetz bestimmt für jedes einzelne Paket einen Pfad zum Empfänger. Die einzelnen Pakete werden unabhängig voneinander und auf verschiedenen Transportwegen versandt. Der Übertragungskanal wird dabei besser ausgenutzt, da dieser nur auf Anfrage belegt (*Capacity on Demand, CoD*) und nach Übertragung eines Paketes automatisch wieder freigegeben wird. Dadurch können sich mehrere Teilnehmer einen physikalischen Kanal teilen. Bei paketvermittelten Diensten kann eine Abrechnung basierend auf der übertragenen Datenmenge und der Dienstgüte erfolgen.

3 Der TETRA-Standard

Zur Harmonisierung des europäischen Bündelfunkmarktes beschloss das Europäische Institut für Telekommunikationsnormen (*European Telecommunications Standards Institute*, ETSI) im Jahr 1988 einen Standard für ein paneuropäisches, digitales Bündelfunknetz zu erarbeiten. Der Arbeitstitel für dieses System war MDTRS (*Mobile Digital Trunked Radio System*). Ende 1991 wurde für MDTRS der neue Begriff TETRA samt offiziellem Logo eingeführt (siehe Abbildung 3). Zu Beginn stand TETRA für *Trans European Trunked Radio System*. Als sich aber auch Länder außerhalb Europas für dieses System zu interessieren begannen, wurde der Name geändert. TETRA ist heute ein Akronym für *Terrestrial Trunked Radio*. Um die breite Durchsetzung des TETRA-Standards im europäischen Raum zu ermöglichen bzw. zu fördern, wurden Netzbetreiber, Gesetzgeber, Hersteller und Benutzer in die Standardisierung mit einbezogen. Ende des Jahres 1996 waren die ersten TETRA-Produkte auf dem Markt verfügbar (vgl. Walke, 2000b, S.15f). Bereits Ende der Neunziger ließen sich auch handfeste erste Anzeichen für die Einführung von TETRA-Systemen in außereuropäischen Ländern ausmachen. Von findigen Köpfen wurde daher auch schon augenzwinkernd eine neue Bedeutung für die Abkürzung TETRA gefunden: *Trans-Earth Trunked Radio* (vgl. Ketterling, 1998, S.8).

Abbildung 3: Das offizielle TETRA-Logo



Quelle: Tervonen, 1998

Für TETRA wurden zwei Familien von Standards erarbeitet (siehe Tabelle 1, vgl. Walke, 2000b, S.16):

- i. Sprache und Daten (*Voice plus Data Standard*, V+D).
- ii. Nur Datenübertragung (*Packet Data Optimized Standard*, PDO).

Der *V+D-Standard* ist gedacht als Nachfolger der bis dato bestehenden Bündelfunknetze erster Generation, während der *PDO-Standard* ein

Paketfunksystem der zweiten Generation definiert. Beide Standards benutzen die gleiche Bitübertragungstechnik und verwenden dieselben Sende- und Empfangsgeräte. *Interoperabilität*, also Herstellerunabhängigkeit der Endgeräte, sowie *Interworking* zwischen verschiedenen TETRA-Netzen und den vorhandenen Festnetzen sind zwingende Voraussetzungen einer europaweiten Standardisierung. Durch ein einheitliches europäisches Bündelfunksystem, das alle Sprach- und Datendienste abdeckt und den heutigen Anforderungen bezüglich Bitrate und Übertragungsverzögerung genügt, sollen lokale und regionale Sprach- und Datenfunkanwendungen ersetzt werden. Hauptanwendungsgebiete von TETRA sind Flottenmanagement, Telemetrie, Einsatz bei Servicefirmen und Kommunikation von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS).

Tabelle 1: Die Serien des TETRA-Standards

Familien	Serie	Inhalt
V+D und PDO	01	Allgemeine Netzbeschreibung
V+D und PDO	02	Definition und Beschreibung der Luftschnittstelle
V+D und PDO	03	Definition der Interworking-Funktionen
V+D und PDO	04	Beschreibung der Luftschnittstellenprotokolle
V+D und PDO	05	Beschreibung der Teilnehmerschnittstelle
V+D und PDO	06	Beschreibung der Festnetzstationen
V+D und PDO	07	Sicherheitsaspekte
V+D und PDO	08	Beschreibung der Managementdienste
V+D und PDO	09	Beschreibung der Leistungsmerkmale
V+D	10	Zusatzdienste 1.Stufe
V+D	11	Zusatzdienste 2.Stufe
V+D	12	Zusatzdienste 3.Stufe

Quelle: Walke, 2000b, S.15

3.1 Charakteristische Dienste und Merkmale

Bevor in den nachfolgenden Subkapiteln genauer auf die Dienste und Merkmale des TETRA-Standards eingegangen wird, folgen kurze Erklärungen wichtiger Begriffe in Zusammenhang mit den Diensten von TETRA (vgl. BMI, 2006):

- *Priorität:* Für Teilnehmer und Gesprächsgruppen können Prioritätsstufen vergeben werden. Gespräche höherer Priorität genießen vorrangige Berechtigungen im System.
- *Dynamische Gruppen:* Diese werden von der Leitstelle oder dem operativen Management definiert bzw. reorganisiert. Es können beliebige Teilnehmer, auch zwischen mehreren Organisationen, zu bestimmten Rufgruppen zugeordnet oder aus diesen gestrichen werden.
- *Selbstlernende Gruppe:* Diese Gruppe ist ähnlich einer dynamischen Gruppe. Sie wird aber von der Leitstelle zur Definition freigegeben. Die Gruppenteilnehmer werden vom Endgerät mittels eines Systembefehls oder einer Funktionstaste in die Sprechgruppe eingetragen. Damit ist es sehr einfach möglich ad hoc Gruppen am Einsatzort zu definieren und die Teilnehmer rasch zu integrieren.
- *Lokale Gruppe:* Darunter wird eine Gruppe mit geografisch begrenzter Verfügbarkeit, wie zum Beispiel ein politischer Bezirk oder ein Bundesland, verstanden. Jeder Teilnehmer kann mit der zuständigen Leitstelle in Kontakt treten, ohne deren Rufnummer zu kennen.
- *Gleichzeitigkeit:* TETRA-Endgeräte und die Leitstellen sind in der Lage, Sprach- und Datenverbindungen gleichzeitig durchzuführen. In diesem Fall hat die Sprache gegenüber den Daten höhere Priorität. Kurznachrichten (SDS) werden je nach Endgerät optisch oder akustisch angezeigt.
- *Lokalisierung:* Der momentane Aufenthaltsort eines Endgerätes, bezogen auf den Bereich einer Basisstation, kann in der Leitstelle und im Netzwerkmanagementsystem bestimmt werden.
- *Statusmeldungen:* Diese können entweder an einen einzelnen Teilnehmer (Punkt-zu-Punkt) oder an eine Sprechgruppe (Punkt-zu-Multipunkt) gesendet werden. Der übertragene Wert wird je nach Programmierung des Endgerätes, in Text umgesetzt oder als numerischer Wert angezeigt.

3.1.1 Standarddienste

Das TETRA-System bietet paketvermittelte Dienste, die vom PDO- und vom V+D-Standard angeboten werden, und kanalvermittelte Daten- und Sprachdienste, die nur im V+D-Standard zur Verfügung stehen. Die *paketvermittelten Dienste* unterscheiden zwei verschiedene Verbindungsarten (vgl. Walke, 2000b, S.18):

- i. *Verbindungsorientierte Paketdatenübertragung* gemäß ISO 8208 Connection Oriented Network Service (CONS) und entsprechend ITU-T¹-Empfehlung X.25².
- ii. *Verbindungslose Paketdatenübertragung* gemäß ISO 8473 Connectionless Network Service (CLNS) für quitierte Punkt-zu-Punkt-Dienste und TETRA-spezifische quitierte Punkt-zu-Punkt- und nicht quitierte Punkt-zu-Multipunkt-Dienste.

Kanalvermittelte Sprache kann ungeschützt über so genannte Trägerdienste oder geschützt über Teledienste übertragen werden (siehe Tabelle 2). Die Teledienste für Sprachübertragung ermöglichen die folgenden Verbindungsarten (vgl. Walke, 2000b, S.18f):

- *Einzelruf*: Punkt-zu-Punkt-Verbindung zwischen zwei Teilnehmern, die vollduplex ausgeführt wird. Ein Einzelruf ist mit einem herkömmlichen Telefongespräch zu vergleichen.
- *Gruppenruf*: Punkt-zu-Multipunkt-Verbindung, die halbduplex zwischen rufendem Teilnehmer und einer über eine gemeinsame Gruppennummer angewählten Gruppe durchgeführt wird. Der Aufbau der Verbindung findet sehr schnell statt, da keine Bestätigung notwendig ist. Alle Teilnehmer der gleichen Gruppe können durchgegebene Funksprüche mithören. Der Gruppenruf ist die wichtigste Kommunikationsform für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben.
- *Bestätigter Gruppenruf*: Bei dieser Art des Gruppenrufes wird dem rufenden Teilnehmer die Anwesenheit der Gruppenmitglieder durch eine Bestätigung mitgeteilt. Ist ein Gruppenmitglied nicht anwesend oder führt ein anderes Gespräch, wird dies von der Infrastruktur mitgeteilt. Ist die Anzahl der erreichbaren Mitglieder zu klein, kann sich der rufende Teilnehmer entscheiden, ob er die Verbindung aufrecht erhält oder

¹ Telecommunication Standardization Bureau der ITU (Internationale Fernmeldeunion).

² „X.25 ist eine von der ITU-T standardisierte Protokollfamilie für großräumige Computernetze über das Telefon-Netzwerk. Der Standard definiert die physikalische Schicht, Sicherungsschicht und Netzwerkschicht (Schicht 1 bis 3) des OSI-Modells“ (Wikipedia, 2006b).

unterbricht. Optional ist es möglich, dass sich Gruppenmitglieder, die anfangs besetzt waren, später dem Gespräch zuschalten.

- *Gruppenruf zur Leitstelle:* Im Normalfall hört die Leitstelle nicht permanent alle Gruppenrufe mit. Daher besteht die Möglichkeit, die Leitstelle darauf aufmerksam zu machen, dass ein Gespräch mit ihr gewünscht wird, und die Leitstelle ebenfalls an den Gruppengesprächen teilnehmen soll.
- *Gruppen-Zusammenschaltung:* Mehrere Gruppen werden zu einer neuen Gruppe zusammengeschaltet. Die Mitglieder der neuen Gruppe kommunizieren untereinander so wie in einer herkömmlichen Gruppe. Die Aufhebung einer derartigen Zusammenschaltung ist von der Leitstelle und vom Netzwerkmanagement jederzeit möglich.
- *Scanning:* Damit ist das Mithören anderer Gruppen gemeint. Jeder Teilnehmer kann gleichzeitig Mitglied von mehreren Rufgruppen sein. Der Teilnehmer kann den einzelnen Rufgruppen unterschiedliche Scanprioritäten zuordnen. Die aktive Gruppe hat die höhere Priorität gegenüber den zu scannenden Gruppen. Falls gleichzeitig in der aktiven Gruppe und in den zu scannenden Gruppen Betrieb herrscht, wird die aktive Gruppe durchgeschaltet.
- *Direktruf (Direct Mode, DM):* Punkt-zu-Punkt-Verbindung zwischen zwei Mobilgeräten ohne Nutzung der Infrastruktur. Eine Mobilstation stellt ohne Vermittlung einer Basisstation eine Verbindung zu anderen Endgeräten her, hält sie aufrecht und übernimmt alle nötigen Funktionen einer Basisstation. Es werden sonst nicht im Netz benutzte Frequenzbereiche verwendet. Eine der beiden Mobilstationen muss auf einem anderen Kanal eine Verbindung zu einer Basisstation haben. Somit können zum Beispiel Verbindungen zwischen zwei Teilnehmern aufgebaut werden, von denen sich einer außerhalb des Einzugsbereichs einer Basisstation befindet.
- *Notruf:* Diese werden mit der höchsten verfügbaren Priorität zu einer definierten Einzeladresse (zum Beispiel der Leitstelle) oder einer Gruppenadresse geleitet. Je nach dem, wie das Endgerät konfiguriert ist, wird das Mikrofon für eine definierbare Zeit eingeschaltet, um ohne Drücken der PTT (Push to Talk)-Taste Sprechen und Abhören der Umgebung zu ermöglichen.
- *Sammelruf oder Rundfunkruf:* Eine Punkt-zu-Multipunkt-Halbduplexverbindung, bei der die über eine Broadcastnummer angewählte Gruppe dem rufenden Teilnehmer nur zuhören kann, ohne Antwortmöglichkeit. Diese Art der Verbindung wird hauptsächlich von Leitstellen genutzt. Um die gewünschten Endgeräte bzw. Teilnehmer zu erreichen, stehen verschiedene Selektionsmethoden zur Verfügung.

Tabelle 2: Träger- und Teledienste für V+D und PDO im TETRA-Standard

Dienstart	Beschreibung	V+D	PDO
Trägerdienst	7,2 – 28,8 KBit/s kanalvermittelte, ungeschützte Sprache oder Daten.	Ja	Nein
Trägerdienst	4,8 – 19,2 KBit/s kanalvermittelte, schwach geschützte Daten.	Ja	Nein
Trägerdienst	2,4 – 9,6 KBit/s kanalvermittelte, stark geschützte Daten.	Ja	Nein
Trägerdienst	Verbindungsorientierte Paketübertragung (Punkt-zu-Punkt).	Ja	Ja
Trägerdienst	Verbindungslose Paketübertragung in Standardformat (Punkt-zu-Punkt).	Ja	Ja
Trägerdienst	Verbindungslose Paketübertragung in Spezialformat (Punkt-zu-Punkt, Mehrpunkt, Broadcast).	Ja	Ja
Teledienst	4,8 KBit/s Sprache.	Ja	Nein
Teledienst	Verschlüsselte Sprache.	Ja	Nein

Quelle: Walke, 2000b, S.19 (adaptiert)

3.1.2 Zusatzdienste

Je nach Betreiber werden auch noch weitere Zusatzdienste angeboten, die in den Serien 10 bis 12 des V+D-Standards definiert und beschrieben sind (vgl. Walke, 2000b, S.20):

- Indirekter Zugang zu PSTN (*Public Switched Telephone Network* = öffentliches Telefonnetz), ISDN (*Integrated Services Digital Network*) und PBX (*Private Branch Exchange* = Telefonanlage).
- *List Search Call* (LSC), bei dem die Teilnehmer oder Gruppen anhand der Reihenfolge von Eintragungen in einer Liste angerufen werden.
- *Include Call*, um bei bestehendem Gespräch durch Wahl einer Rufnummer einen weiteren Teilnehmer in die bestehende Verbindung mit einzubeziehen.
- Rufweiterleitung und Rufumleitung.

- Rufeinschränkung bzw. Rufsperrung für ankommende und abgehende Gespräche, *Barring of Incoming/Outgoing Call* (BIC/BOC).
- *Call Authorization by Dispatcher* (CAD), bei dem auf Antrag eine bestimmte Rufart ermöglicht wird.
- *Call Report* (CR) ermöglicht das Hinterlegen der Nummer des rufenden Teilnehmers beim gerufenen Teilnehmer für einen späteren Rückruf.
- Rufnummernidentifikation *Calling/Connected Line Identification* (CLIP/COLP). Diese Funktion kann mit *Calling/Connected Line Identification Restriction* (CLIR) unterbunden werden. Außerdem ist auch eine Teilnehmeridentifikation möglich (*Talking Party Identification*).
- *Call Waiting* (CW) zeigt dem belegten Teilnehmer an, wer in der Zwischenzeit angerufen hat.
- *Call Hold, Connect to Waiting* ermöglicht einem kommunizierenden Teilnehmer, sein Gespräch zugunsten eines anderen zu unterbrechen und das unterbrochene Gespräch später weiterzuführen.
- *Short Number Addressing* (SNA) ermöglicht einem Benutzer, einen Teilnehmer über eine Kurzwahlnummer anzurufen. Die Umsetzung von Kurzwahl- zu Teilnehmernummern übernimmt die TETRA-Infrastruktur.
- Prioritätenruf.
- Prioritätenruf mit Unterbrechung.
- Zugangspriorität.
- *Advice of Charge* (AoC) ist ein Dienst, durch den dem Teilnehmer die anfallenden Gebühren vor, während oder am Ende eines Gesprächs angezeigt werden.
- Diskretes Abhören eines Gesprächs durch eine autorisierte Person (siehe Subkapitel 3.1.3 Sicherheit).
- *Ambience Listening* (AL) ermöglicht, den Sender eines mobilen Endgerätes zu sperren, mit der Folge, dass dieses Endgerät nur noch Notrufe senden kann.
- Dynamische Gruppennummerzuweisung.
- *Transfer of Control* (TC) ermöglicht es dem Initiator einer Multipunktverbindung, die Kontrolle über das Gespräch an einen anderen Teilnehmer der Verbindung weiterzugeben.

- *Area Selection* (AS) erlaubt einem Benutzer, die Zelle für den Verbindungsaufbau auszuwählen, bzw. dem zurzeit bedienten Teilnehmer, die Zelle zu bestimmen.
- *Late Entry* (LE) ist eine Einladung an mögliche Teilnehmer einer Multipunktverbindung, in eine bestehende Verbindung eingebunden zu werden.

Während Standarddienste mit jeder Mobilstation genutzt werden können, müssen die vom Netzbetreiber angebotenen Zusatzdienste extra mitgebucht werden, damit sie von den Teilnehmern genutzt werden können.

3.1.3 Sicherheit

Um die übertragenen Informationen, sei es Sprache, Datenverkehr oder andere nutzerspezifische Information, ausreichend zu schützen, gibt es im TETRA-Standard zahlreiche Sicherheitsfunktionen. Um diese beschreiben zu können, ist es nötig, eine Unterscheidung in verschiedene Funktionskategorien und deren Applikationen zu machen. In TETRA können folgende Kategorien unterschieden werden (vgl. TETRA MoU Association, 2006d):

- *Sicherheitsmechanismen*: Eigenständige und unabhängige Funktionen mit dem Zweck, ein spezielles Sicherheitsziel (wie beispielsweise Vertraulichkeit von Informationen oder Authentizität von mobilen Endgeräten) zu erreichen. Sie stellen die wichtigsten Bausteine eines Sicherheitssystems dar.
- *Sicherheitsmanagementfunktionen*: Funktionen, um die individuellen Sicherheitsmechanismen verwalten und kontrollieren zu können. Diese Funktionen formen die zentrale Basis des Sicherheitssystems und dienen auch zur Realisierung der Interoperabilität zwischen mehreren Netzen. Die wichtigste Funktion des Sicherheitsmanagements ist die Schlüsselverwaltung.
- *Kryptographische Standardalgorithmen*: Mathematische Funktionen, die dazu benutzt werden, um adäquate Sicherheitsstufen für Sicherheitsmechanismen und Sicherheitsmanagementfunktionen zu gewährleisten. Die Anwendung erfolgt zumeist in Kombination mit so genannten kryptographischen Schlüsseln.
- *Rechtmäßige Abhörmechanismen*: Funktionen, die dazu benutzt werden, um die verschiedenen nationalen Gesetzesvorschriften bezüglich Zugriffsmöglichkeit auf Informationen und Kommunikation zu ermöglichen.

Wichtig dabei ist, darauf zu achten, dass diese Funktionen nicht die allgemeine Sicherheit des Systems unterminieren.

Im Folgenden werden die beiden wichtigsten Sicherheitsmechanismen von mobilen Funksystemen beschrieben:

- i. Authentifizierung.
- ii. Verschlüsselung.

3.1.3.1 Authentifizierung über die Luftschnittstelle

Der TETRA-Standard unterstützt die wechselseitige Authentifizierung von Mobilgerät und Infrastruktur (*Switching and Management Infrastructure*). Dadurch kann einerseits vom System der Zugriff auf das Netz und andererseits von der Mobilstation die Vertrauenswürdigkeit des Netzes kontrolliert werden. Die Authentifizierung stellt bei TETRA, wie in den meisten Sicherheitssystemen, eine zentrale Basis für die Gesamtsicherheit dar. Sie wird für folgende Zwecke bzw. Abläufe genutzt (vgl. TETRA MoU Association, 2006d):

- Abrechnungssysteme bei öffentlich zugänglichen Netzen.
- Zugriffskontrolle von Mobilstationen auf das Netz und dessen Dienste.
- Erstellung eines eindeutigen Sitzungsschlüssels (*Derived Cipher Key*, DCK) im Zuge der Authentifizierung, der später zur Sicherstellung der Vertraulichkeit von Informationsflüssen genutzt wird.
- Zur Generierung einer sicheren Verbindung für sensitive Informationen wie andere kryptographische Schlüssel.
- Kontrolle der Gültigkeit von Mobilstationen bzw. SIM-Karten.
- Sicherstellung, dass die betreffenden Mobilstationen an ein legitimes TETRA-Netz angeschlossen sind.

Die angesprochene wechselseitige Authentifizierung wird sowohl bei Sprach- als auch Datenverkehr verwendet. Für DMO ist kein expliziter Mechanismus zur Authentifizierung vorgesehen. In diesem Fall kann auf einen *Static Cipher Key* (SCK) mit standardisiertem Algorithmus zurückgegriffen werden. Die wechselseitige Authentifizierung wird auf Basis eines Schlüssels durchgeführt, der für jede Mobilstation bzw. SIM-Karte eindeutig ist. Dieser Schlüssel wird in der Mobilstation und im Netzwerk hinterlegt. Im Normalfall ist ein spezielles Netzwerkelement, das so genannte *Authentication Centre* (AuC), für diese Hinterlegung

zuständig. Der TETRA-Standard sieht folgende drei Authentifizierungsprozeduren vor (vgl. Barrionuevo, 2002, S.112):

- i. Authentifizierung des Benutzers: Dabei wird die Identität des Benutzers geprüft. Jeder Teilnehmer im TETRA-Netz besitzt einen eigenen geheimen Authentifizierungsschlüssel (*User Authentication Key*), der sowohl dem Netz als auch dem Mobilgerät bekannt ist. Das Netz generiert zur Authentifizierung eine Zufallszahl und sendet diese an die Mobilstation. Beide Seiten berechnen nun mit Hilfe von Authentifizierungsalgorithmen einen Wert (*Response*). Die beiden Werte werden anschließend vom Netz verglichen. Sind die Werte gleich, ist der Nutzer authentifiziert und erhält die Berechtigung für den Zugang zum Netz.
- ii. Authentifizierung der Infrastruktur: In diesem Fall überprüft die Mobilstation, ob ein bestimmtes Netz das von ihm gewollte Zielnetz ist. Der Authentifizierungsmechanismus ist dem ersten Fall sehr ähnlich. Hierbei wird aber die Zufallszahl von der Mobilstation generiert und an das Netz gesendet. Das Netz erzeugt den Response, der dann wiederum in der Mobilstation verglichen wird.
- iii. Gegenseitige Authentifizierung von Netz und Benutzer: Dabei handelt es sich um eine Kombination der beiden vorangegangenen Prozeduren. Scheitert dabei die erste Prozedur, wird die zweite Prozedur nicht mehr durchlaufen.

3.1.3.2 Verschlüsselung

Es liegt in der Natur der Sache, dass die Luftschnittstelle eines Mobilfunksystems grundsätzlich angreifbar für Lauschangriffe ist. Daher benötigen mobile Kommunikationssysteme eine Form der Luftschnittstellenverschlüsselung, um die Sicherheit der Verbindung zwischen Mobilstation und Netzwerk zu gewährleisten. Für die meisten Anwendungsbereiche ist diese Vorkehrung auch schon ausreichend, und es werden keine weiteren Sicherheitsfunktionen benötigt. In speziellen TETRA-Systemen kann es allerdings nötig sein, die Informationen zusätzlich zu schützen, sodass sie von einer Mobilstation nicht bloß bis zum Netzwerk, sondern auch darüber hinaus, also innerhalb des Netzwerks, geschützt werden. Man spricht in diesem Fall von Ende-zu-Ende-Verschlüsselung.

Bei der Verschlüsselung an der Luftschnittstelle können Informationen sowohl von Einzel- als auch von Gruppenrufen verschlüsselt werden. Es wird die Verwendung von mehreren Verschlüsselungsalgorithmen (standardisierten und proprietären) unterstützt. Zu unterscheiden ist zwischen *Traffic Encryption* und *Signalling Encryption*. Während erstere Verschlüsselung die Verkehrsdaten an sich, also Sprache und Daten schützt, wird durch die Signalling Encryption sichergestellt,

dass niemand abhören kann, wo sich das jeweilige Endgerät aufhält oder wer die Verbindung initiiert hat (vgl. TETRA MoU Association, 2006d).

Die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung kann auf verschiedenste Weise realisiert werden. Das heißt, jede Benutzergruppe kann auf einfachem Weg ein maßgeschneidertes Verschlüsselungssystem nach ihren konkreten Anforderungen implementieren. Für einen offenen Standard wie TETRA ist diese Flexibilität äußerst wichtig, da er für möglichst viele verschiedene Nutzergruppen anwendbar sein soll. Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben haben im Regelfall sehr hohe Sicherheitsanforderungen, und diese werden vermutlich von militärischen Organisationen noch übertroffen. All diesen Benutzergruppen muss es daher möglich sein, anforderungsorientierte Ende-zu-Ende-Verschlüsselungssysteme zu spezifizieren. Zu bemerken ist dabei, dass der TETRA-Standard zwar die Implementierung der Verschlüsselung an sich völlig offen lässt, allerdings das nötige Rahmengerüst, wie zum Beispiel das Schlüssel-Management, sehr wohl spezifiziert. Festgehalten werden diese Spezifizierungen in der *TETRA Association Security and Fraud Prevention Group (SFPG) Recommendation 02*. Die Details des Verschlüsselungsalgorithmus werden dabei in der Spezifikation grundsätzlich als Black-Box-Funktion behandelt. Alles andere, was für einen Ende-zu-Ende-Verschlüsselungsdienst nötig ist, ist hingegen vollständig spezifiziert (vgl. TETRA MoU Association, 2006d).

Um allerdings für den Durchschnittsnutzer eine komplette Lösung vorstellen zu können, beinhaltet die Spezifikation auch beispielhafte Implementierungen von gängigen Verschlüsselungsalgorithmen wie IDEA (*International Data Encryption Algorithm*) oder AES (*Advanced Encryption Standard*). In der Praxis empfiehlt es sich, diese Beispiel-Algorithmen auch zu verwenden, da zahlreiche Hersteller auf diesen Lösungen aufbauen.

Ein weiterer Aspekt der Verschlüsselung ist die Wahrung der Anonymität. Der TETRA-Standard beinhaltet einen Mechanismus zur Verschlüsselung von Nutzer- und Gruppenidentitäten, bevor diese über die Luftschnittstelle gesendet werden. Es besteht die Möglichkeit, diese Verschlüsselung zu dynamisieren, sodass die Identitäten bei verschiedenen Gelegenheiten unterschiedlich verschlüsselt werden. Dies sorgt für noch besser geschützte Anonymität, da es die Analyse von Datenströmen zusätzlich erschwert. Der besprochene Verschlüsselungs-Mechanismus ist für Sprache und Daten sowohl im Normalmodus als auch bei direkter Kommunikation (DMO) verfügbar (vgl. TETRA MoU Association, 2006d).

3.1.4 Dynamische Abläufe

3.1.4.1 Handover

Wie andere Mobilfunknetze bietet auch TETRA den unterbrechungsfreien Wechsel von einer Funkzelle in eine andere (*Cell Re-Selection*). Während einer Verbindung misst die Mobilstation die Signalstärke von benachbarten Zellen und versucht, die gesamten Netzinformationen dieser Zellen zu decodieren. Wird nach Erhalt dieser Informationen eine andere Zelle von der Mobilstation bevorzugt, wird ein Handover angefordert, was zum Aufruf der so genannten *Call Reestablishment* bzw. *Cell Re-Selection* Prozeduren führt. Ein Handover in andere Systeme wie beispielsweise der GSM/UMTS-Inter-System-Handover ist im TETRA-Standard nicht vorgesehen. Im Unterschied zu GSM entscheidet bei TETRA nicht die Netzinfrastruktur, sondern die Mobilstation, ob ein Handover stattfinden soll oder nicht. Damit wird eine Netzüberlastung vor allem bei Gruppenrufen vermieden. Im Normalfall informiert die Mobilstation das Netz bzw. die alte und/oder die neue Zelle über die Handover-Entscheidung. Aus diesem Grund spricht man von *Announced Cell Re-Selection*. Drei verschiedene Arten von Announced Cell Re-Selection Prozeduren wurden im TETRA-Standard definiert (vgl. Barrionuevo, 2002, S.109):

- i. Typ 1: Die neue Zelle sowie die Kanalzuweisung sind der Mobilstation bekannt. Bei Bedarf erfolgt eine neue Registrierung. Diese Prozedur wird auch *Fast Cell Reestablishment* genannt.
- ii. Typ 2: Der Mobilstation ist nur die neue Zelle, nicht aber der neue Kanal bekannt. Auch in diesem Fall erfolgt eine neue Registrierung.
- iii. Typ 3: Die neue Zelle ist der Mobilstation nicht bekannt. In diesem Fall wird die alte Zelle über die Absicht des Zellenwechsels informiert.

3.1.4.2 Roaming

Unter Roaming wird im TETRA-Standard etwas anderes verstanden als beispielsweise im GSM-Standard. Der Begriff Roaming beschreibt den Wechsel des Aufenthaltsbereiches (*Location Area*) innerhalb desselben TETRA-Netzes. Bewegt sich ein Teilnehmer innerhalb des Netzes von einer Zelle zur anderen, wird dies vom System auch ohne Gesprächsverbindung festgestellt. Aus diesem Grund kann jeder Teilnehmer jederzeit gefunden bzw. gerufen werden, unabhängig von seinem physischen Aufenthaltsort innerhalb des Netzes. Im GSM-System wird diese Prozedur als *Location Update* bezeichnet (vgl. Barrionuevo, 2002, S.109f).

3.1.4.3 Migration

Auch der Wechsel von dem Versorgungsbereich eines TETRA-Netzes in ein anderes wird von den beteiligten Systemen festgestellt, egal ob eine Gesprächsverbindung besteht oder nicht. Somit kann ein Teilnehmer jederzeit erreicht werden, unabhängig davon, in welchem TETRA-Netz er sich befindet. (Bei GSM wird diese Prozedur als Roaming bezeichnet). Eine Migration in andere Netze, wie GSM oder UMTS, ist derzeit noch nicht möglich (vgl. Barrionuevo, 2002, S.110).

3.1.4.4 Registrierung

Sobald ein Teilnehmer in einen neuen Registrierungsbereich wechselt oder in den Versorgungsbereich eines anderen TETRA-Netzes eintritt, muss er sich neu registrieren. Vom Netz erhält der Teilnehmer daraufhin eine Meldung, ob die Registrierungsprozedur erfolgreich war oder nicht. Die Möglichkeit, sich von einem Netz abzumelden (De-Registrierung), besteht ebenfalls. Die entsprechenden Prozeduren können durch folgende Faktoren hervorgerufen werden:

- Explizite Anforderung des Mobilteilnehmers mit Hilfe einer Benutzerapplikation durch Einschalten des Gerätes oder durch Einführen der SIM-Karte in das Gerät.
- Aufenthaltsbereichswechsel durch das Mobilgerät.
- Authentifizierungsanforderung durch die Infrastruktur.

Im TETRA-Standard werden drei verschiedene Arten der Registrierung unterschieden (vgl. Barrionuevo, 2002, S.110):

- i. Mehrfachregistrierung: Erlaubt den Mobilteilnehmern sich in mehreren Aufenthaltsbereichen zu registrieren, um den Registrierungsbereich zu erweitern. Die Mehrfachregistrierung ist auch in mehreren Netzen möglich.
- ii. Periodische Registrierung: Die Registrierung wird durch einen programmierbaren Timer in der Mobilstation periodisch durchgeführt.
- iii. Implizite Registrierung: Diese wird durch System-Nachrichten ausgelöst, die die Identität des Teilnehmers erfordern, wie beispielsweise Paging- oder Zellwechsel-Anforderungen.

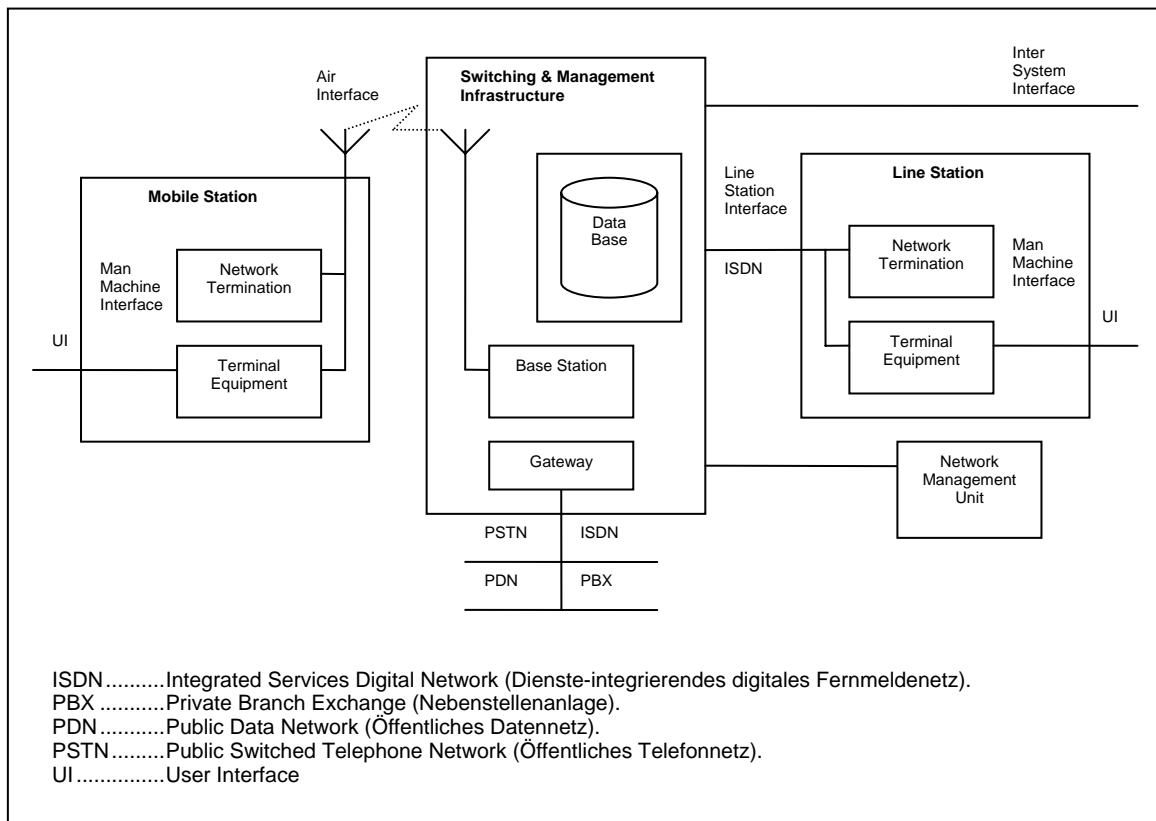
3.1.4.5 Verbindungsaufbau

Der rasche Verbindungsaufbau ist eines der wichtigsten Merkmale von TETRA-Systemen. Diese Eigenschaft spielt für die Erfüllung der Anforderungen von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben in Notsituationen eine

tragende Rolle. Der Aufbau einer Verbindung soll bei Kanalvermittlung 300 Millisekunden und bei verbindungsorientierter Übertragung von Paketdaten zwei Sekunden nicht überschreiten. Sprache soll maximal 300 Millisekunden verzögert zu hören sein. Die Übertragungsverzögerung eines 100 Byte-Referenzpaketes bei verbindungsorientierter Übertragung soll bei V+D maximal 500 Millisekunden betragen, bei verbindungsloser Übertragung abhängig von der jeweiligen Transaktionspriorität maximal 3, 5 oder 10 Sekunden. Bei PDO liegt die Obergrenze der Transitverzögerung für verbindungsorientierte Dienste für ein 128 Byte-Referenzpaket bei maximal 100 Millisekunden (vgl. Barrionuevo, 2002, S.112).

3.2 Architektur des TETRA-Systems

Abbildung 4: Die Architektur des TETRA-Systems



Quelle: Walke, 2000b, S.21 (adaptiert und ergänzt)

Das Tetra-System ist ähnlich dem GSM-System aufgebaut, allerdings mit einigen Unterschieden. Es werden die folgenden fünf Teilsysteme unterschieden (siehe Abbildung 4):

- i. Mobile Station.
- ii. Line Station.
- iii. Switching & Management Infrastructure.
- iv. Network Management Unit.
- v. Gateway.

3.2.1 Mobile Station

Die Mobilstation umfasst die gesamte physikalische Ausrüstung des Benutzers, also sowohl das Funkgerät als auch die Schnittstelle, über die auf die einzelnen Dienste zugegriffen wird. Die Mobilstation besteht wie im GSM-System aus zwei Teilen: Einerseits aus dem Gerät, das alle benötigten Hard- und Softwarekomponenten für die Funkschnittstelle enthält, und andererseits aus dem *Subscriber Identity Module* (SIM), welches alle teilnehmerspezifischen Informationen enthält. Das SIM kann entweder als *Smart Card* in der Größe einer Scheckkarte realisiert oder bereits fest im Gerät eingebaut sein. Die Realisierung als Smart Card hat den Vorteil, dass der Besitzer einer Mobilstation rasch gewechselt werden kann. Eine dritte Möglichkeit der Übermittlung der benutzerspezifischen Daten ist die Eingabe eines *Login Codes*. Auch damit ist das Mobilgerät benutzerabhängig (vgl. Walke, 2000b, S.22).

Zusätzlich zur soeben erwähnten Teilnehmeridentifizierung gibt es für jedes Mobilgerät eine *TETRA Equipment Identity* (TEI), die gerätespezifisch ist. Diese Nummer wird vom Betreiber vergeben, und nur er kann das Gerät sperren und wieder freigeben. Ein gestohlenen Gerät kann somit sofort unbrauchbar gemacht, und ein unbefugter Zugriff praktisch ausgeschlossen werden. Die TEI ist mit der *International Mobile Equipment Identity* (IMEI) im GSM- und UMTS-System vergleichbar. Zur eindeutigen Adressierung und Verwaltung der Mobilgeräte werden folgende Nummern bzw. Identitäten zugeordnet (vgl. Walke, 2000b, S.22):

- *TETRA Subscriber Identity* (TSI).
- *TETRA Management Identity* (TMI).
- *Network Layer Service Access Point Addresses* (NSAP).
- *Short Subscriber Identity* (SSI).
- *Mobile Network Identity* (MNI).

Die TSI besteht aus den drei Teilen: *Mobile Country Code*, der die Ländererkennung beinhaltet, *Mobile Network Code*, der das betreffende TETRA-Netz bezeichnet, und der *Short Subscriber Identity*, die den Benutzer identifiziert. Bei einem Verbindungsaufbau innerhalb des Heimatnetzes wird nur die SSI als Adresse verwendet. Damit verringert sich die Signalisierungsdatenmenge. Für Managementfunktionen der Vermittlungsschicht wird die TMI benutzt. Die NSAP wird zur Adressierung externer (also nicht-TETRA) Netze eingesetzt und ist optional. Damit kann zum Beispiel eine Verbindung in ein ISDN-Netz hergestellt werden.

3.2.1.1 Direct Mode Mobile Station

Im TETRA-System gibt es auch Mobile Stations, die direkt, ohne Nutzung der Infrastruktur kommunizieren können. Diese Eigenschaft wird *Direct Mode Operation* (DMO) genannt. Um den Abdeckungsbereich von Mobilgeräten zu erweitern, werden so genannte Repeater- und Gateway-Funktionen im Funkgerät implementiert. Der DMO-Modus erlaubt Punkt-zu-Punkt- und Punkt-zu-Multipunkt-Verbindungen über die DMO-Funkschnittstelle (vgl. Barrionuevo, 2002, S.94).

3.2.2 Line oder Dispatcher Station

Die *Line Station* oder *Dispatcher Station* ist prinzipiell genau so aufgebaut wie die Mobilstation, mit dem Unterschied, dass sie über ISDN mit der Switching & Management Infrastructure verbunden ist. Eine Line Station wird zum Beispiel von einem Fuhrparkunternehmen als Zentrale für sein Netz genutzt. Die angebotenen Funktionen und Dienste entsprechen der Mobilstation. Als Dispatcher wird eine Person bezeichnet, die die Aufgaben an das Personal im Feldeinsatz verteilt und deren Ausführung verfolgt. Die Dispatcher Station ist somit ein typischer Bestandteil eines Behördennetzes. Über sein Endgerät kann der Dispatcher auch den Funkverkehr des Netzes kontrollieren und Verwaltungsaufgaben, wie zum Beispiel die Verwaltung der Gruppen- und Benutzerdaten, erledigen. Darüber hinaus kann er sich in jedes aktuelle Gruppen- oder Individualgespräch einschalten (vgl. Barrionuevo, 2002, S.94).

3.2.3 Switching & Management Infrastructure

Die *Switching & Management Infrastructure* (SwMI) stellt die lokale Steuerungseinheit eines TETRA-Systems dar. Die enthaltenen Basisstationen stellen die Kommunikation zwischen Mobilstation und Line Station über ISDN her und halten diese aufrecht. Von der SwMI werden die nötigen Kontrollaufgaben erledigt, die Kanäle zugeteilt und die Verbindungen vermittelt. Sie führt die Authentifizierung über die *Home Date Base* (HDB) durch. Diese beinhaltet

Rufnummer, Gerätenummer und abonnierte Basis- und Zusatzdienste der einzelnen Teilnehmer des Heimatnetzes. Informationen über Besucher im Netz werden aus deren HDB kopiert und in der *Visited Data Base* (VDB) abgelegt. Eine weitere Aufgabe der SwMI stellt die Gebührenabrechnung dar. Im *Authentication Center* (AuC) werden verschiedene Authentifizierungsschlüssel generiert und gespeichert (vgl. Walke, 2000b, S.23).

3.2.4 Network Management Unit

Die Network Management Unit erfüllt Steuerungsaufgaben wie beispielsweise Systemverwaltung, Netzkonfiguration und Netzplanung von einem Terminal aus. TETRA definiert nur das Standard Management Interface und die allgemeinen Anforderungen, um das Interworking zwischen mehreren Systemen zu realisieren. Die Implementierung der einzelnen Funktionen zur Verwaltung wird den Herstellern und den Netzbetreibern überlassen (vgl. Barrionuevo, 2002, S.95).

3.2.5 Gateway

Das Gateway ermöglicht die Kommunikation zwischen TETRA-Netz und anderen Netzen. Hauptaufgabe ist die Durchführung von Konvertierungsfunktionen, die das Eingangsformat der Kommunikationsprotokolle anderer Netze an TETRA und umgekehrt anpassen. Drei verschiedene Fremdnetze werden unterstützt: PSTN (öffentliches Telefonnetz), ISDN und PDN (öffentliches Datennetz). Für die Verbindung mit dem analogen PSTN sind zusätzliche Funktionen zur Signalkonvertierung (digital nach analog und umgekehrt) nötig. Das Gateway ist für folgende Aufgaben zuständig (vgl. Barrionuevo, 2002, S.95f):

- *Voice Transcoding*: Da die Bitrate des Sprachcodierers im TETRA (4,567 kBit/s) wesentlich niedriger ist als in öffentlichen Netzen.
- *Control Signalling Translation*: Ermöglicht die Übertragung von Signalisierungsinformationen zwischen TETRA und externen Netzen.
- *Echo Cancellation*: Wird im PSTN Gateway implementiert, da ein Echo bei der Verbindung zum analogen PSTN aufgrund von Verzögerungen auftritt.

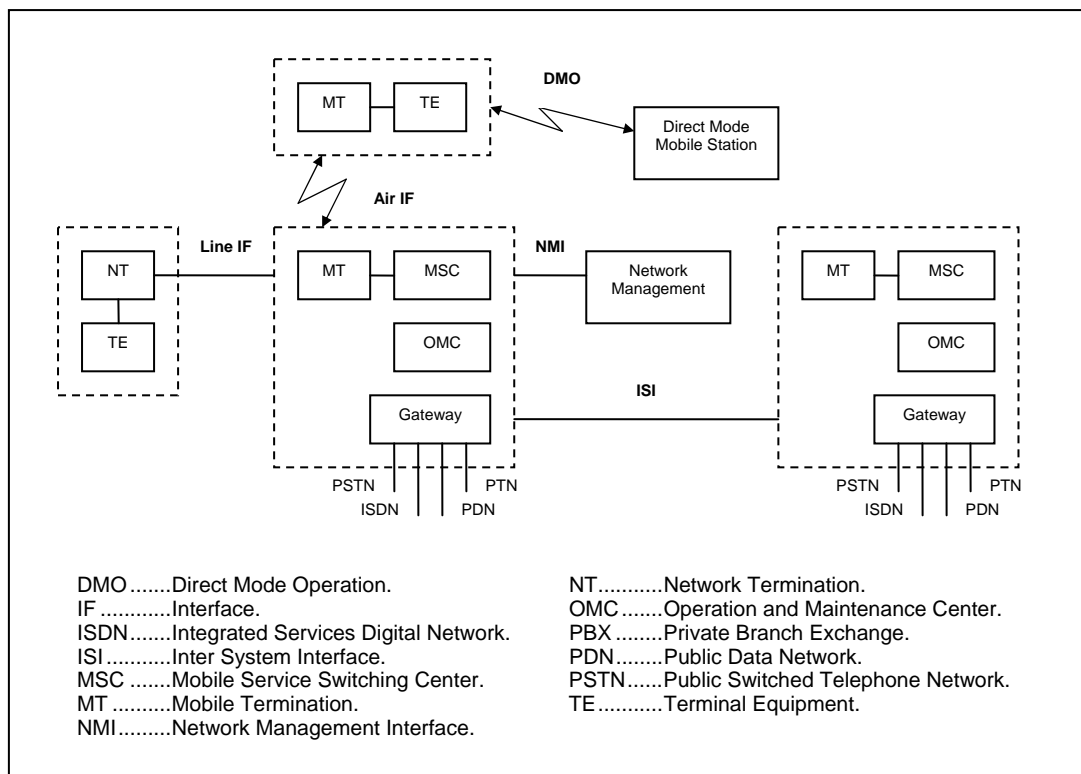
3.3 Schnittstellen des TETRA-Systems

Im TETRA Standard sind zur Sicherung der Kommunikation drei unterschiedliche Arten von Schnittstellen definiert (vgl. Barrionuevo, 2002, S96):

- i. Schnittstellen zwischen verschiedenen TETRA-Netzen.
- ii. Schnittstellen zwischen TETRA-Netzen und anderen privaten und öffentlichen Netzen (*Interworking*).
- iii. Schnittstellen zum herstellerunabhängigen Betrieb eines Endgerätes in einem TETRA-Netz.

Die internen Schnittstellen eines TETRA-Netzes und deren Komponenten wurden bewusst nicht standardisiert. Hardware-Herstellern ist es dadurch möglich, optimale und vor allem kostengünstige Lösungen bereit zu stellen, da sie sich nicht an vorgegebene Standards halten müssen. So ist zum Beispiel die Schnittstelle zwischen Basisstation und Vermittlungsstelle nicht definiert worden, und jeder Hersteller darf entscheiden, wie die Basisstationen mit der Vermittlungsstelle verbunden werden. Ein möglicher Nachteil, der sich daraus ergibt, ist die damit verbundene Herstellerabhängigkeit. Das heißt, es müssen alle Basisstationen und die Vermittlungsstelle vom selben Hersteller gekauft werden. TETRA-Netze verschiedener Hersteller können aber über das *Inter System Interface* (ISI-Schnittstelle) verbunden werden. Bei den Mobilgeräten besteht diese Herstellerabhängigkeit nicht. Diese können wie bei GSM und UMTS bei jedem beliebigen Hersteller gekauft werden. Einen Überblick über sämtliche im Folgenden beschriebenen Schnittstellen in einem TETRA-Netz gibt Abbildung 5.

Abbildung 5: Schnittstellen des TETRA-Netzwerks



Quelle: Barrionuevo, 2002, S.97

3.3.1 Terminal Equipment Interface

Das Terminal Equipment Interface (die Teilnehmerschnittstelle) ist jene Schnittstelle zwischen dem TETRA-Endgerät und Zusatzgeräten. So kann über diese Schnittstelle zum Beispiel ein Notebook angeschlossen werden. Als Endgerät kommt bei TETRA sowohl die Mobilstation als auch die Line Station in Betracht. Daher gibt es auch zwei Arten von Teilnehmerschnittstellen (vgl. Barrionuevo, 2002, S.97):

- i. Teilnehmerschnittstelle der Mobilstation.
- ii. Teilnehmerschnittstelle der Line Station.

Die Mobilstation besteht aus dem Endgerät, dem *Terminal Equipment* (TE), welches dem Teilnehmer direkt zugänglich ist, und der *Mobile Termination* (MT), die verschiedene Funktionen, die für die Erbringung der einzelnen Dienste benötigt werden, beinhaltet. Die Aufgaben der TE sind Funkkanalbetriebsmittel- und Mobilitätsverwaltung, Sprach- und Datencodierung und -decodierung, Übertragungssicherung und Steuerung des Datenflusses.

Die Line Station setzt sich ebenfalls aus zwei Teilen zusammen, dem *Terminal Equipment* (TE) und der *Network Termination* (NT). Die TE-Funktionsgruppe existiert in zwei Ausführungen, von denen TE1 eine ISDN-Schnittstelle und TE2 eine TETRA-Schnittstelle enthält. Die NT-Funktionsgruppe verbindet die Line Station mit dem Festnetz über eine ISDN-Leitung. Die NT beinhaltet die für die ISDN-Dienste notwendigen Funktionen.

3.3.2 Trunked Mode Air Interface

Das Trunked Mode Air Interface (die Funk- oder Luftschnittstelle) liegt zwischen der Mobilstation und der Basisstation. Sie verbindet also das Endgerät mit dem TETRA-Netz. Durch die Definition dieser Schnittstelle wird die Interoperabilität der Mobilstationen auf der Luftschnittstelle sichergestellt. Wie bei allen Mobilfunksystemen ist dies die wichtigste Schnittstelle.

TETRA verwendet wie das GSM-System den *FDD-Modus*. Das heißt, es werden verschiedene Frequenzbänder für Sende- und Empfangsrichtung verwendet. In Europa sind für den Uplink bzw. Downlink mehrere Bereiche zwischen 380 und 470 MHz bzw. 870 und 933 MHz als Frequenzbänder vergeben worden. Der Frequenz- oder Duplexabstand zwischen Sende- und Empfangsrichtung beträgt grundsätzlich 10 MHz mit Ausnahme der Bänder zwischen 870 und 933 MHz, wo der Duplexabstand 45 MHz beträgt. Die Aufteilung der Frequenzbänder auf die einzelnen Nutzergruppen wurde folgendermaßen festgelegt (vgl. Barrionuevo, 2002, S.99):

- Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben verwenden die Frequenzbänder 380 – 390 MHz für den Uplink und 390 – 400 MHz für den Downlink.
- Dem kommerziellen Bereich wurden die Frequenzbänder 420 – 430 MHz für den Uplink und 430 – 440 MHz für den Downlink vergeben.
- Zusätzlich werden vom Europäischen Standardisierungsinstitut für Post und Telekommunikation (*Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications*, CEPT) folgende Bänder empfohlen:
 - 450 – 460 MHz (Uplink) und 460 – 470 MHz (Downlink)
 - 870 – 888 MHz (Uplink) und 915 – 933 MHz (Downlink)

Ebenfalls wie im GSM System wird auch im TETRA-Standard eine Kombination aus Frequenzvielfachzugriff (FDMA) und Zeitvielfachzugriff (TDMA) verwendet. Jedes Up- und Downlink-Band wird dabei in Trägerfrequenzen zu je 25 kHz Bandbreite aufgeteilt. Mit einem 25-kHz-Kanal ist es möglich, eine Funkzelle zu betreiben. Mittels TDMA-Verfahren werden weiters auf jeder Trägerfrequenz vier Zeitschlitze

mit einer Dauer von 14,17 Millisekunden ausgebildet. Ein periodischer Zeitschlitz realisiert dabei einen physikalischen Kanal, auf den ein logischer Kanal abgebildet wird. Er wird durch die Trägerfrequenz und den wiederkehrenden Zeitschlitz in Abständen von 56,67 Millisekunden charakterisiert (vgl. Barrionuevo, 2002, S.99).

Der TETRA Voice plus Data Standard (V+D) bietet wie bereits erwähnt kanalvermittelte Sprach- und Datendienste sowie Paketdatendienste. Im V+D-Modus ist die gleichzeitige Übertragung von Sprache und Daten möglich. Die maximale Datenrate eines Verkehrskanals beträgt dabei 7,2 kBit/s. Durch die Zusammenfassung von zwei bis vier Zeitschlitz pro Träger können auch höhere Datenraten von bis zu 28,8 kBit/s erreicht werden. Die Rahmenstruktur von TETRA V+D ist hierarchisch geordnet. Die unterste Ebene bilden halbe und ganze Zeitschlitz mit Längen von 255 bzw. 510 Bits. Vier Zeitschlitz bilden einen TDMA-Rahmen. 18 zyklisch nummerierte Rahmen werden zu einem Multirahmen zusammengefasst. 60 Multirahmen bilden wiederum einen Hyperrahmen, der die größte vorkommende Struktur darstellt. Der jeweils achtzehnte Rahmen eines Multirahmens wird Steuerrahmen oder *Control Frame* genannt. Er ist für die Signalisierungskanäle reserviert. Bei Bedarf können auch noch weitere Rahmen reserviert werden. In den übrigen Zeitschlitz werden digitalisierte Sprache oder Daten übertragen. Im V+D-Modus unterscheidet man drei Arten von physikalischen Kanälen (vgl. Barrionuevo, 2002, S.100):

- Physikalischer Steuerkanal (*Control Physical Channel, CP*), der exklusiv die Steuerdaten überträgt.
- Physikalischer Verkehrskanal (*Traffic Physical Channel, TP*), auf den die logischen Sprach- und Datenkanäle abgebildet werden.
- Nicht belegter physikalischer Kanal (*Unallocated Physical Channel, UP*), der keiner Mobilstation zugeteilt ist und der Versendung von Broadcast-Nachrichten dient.

Ein bestehender physikalischer Kanal benutzt in aufeinander folgenden TDMA-Rahmen jeweils denselben Zeitschlitz. Wie im GSM-System werden logische Kanäle auf physikalische Kanäle abgebildet. Da im TETRA-Standard vier Zeitschlitz pro Rahmen definiert sind, können auch vier Kanäle gleichzeitig auf einer Trägerfrequenz bestehen. Analog zum GSM- und UMTS-System werden auch im TETRA-Standard zwei Kategorien von logischen Kanälen definiert (vgl. Barrionuevo, 2002, S.100):

- i. Verkehrskanäle (*Traffic Channel, TCH*).
- ii. Steuerkanäle (*Control Channel, CCH*).

Verkehrskanäle dienen der Übertragung von Sprache und Daten bei kanalvermittelter Verbindung. Es gibt vier verschiedene Verkehrskanäle, wobei

einer für die Sprachübertragung und drei weitere für die Datenübertragung zuständig sind. Sie bieten unterschiedliche Nettobitraten (7,2 kBit/s, 4,8 kBit/s und 2,4 kBit/s) die durch unterschiedlich aufwendige Fehlerschutzverfahren entstehen. Die Zuweisung von Verkehrskanälen spielt in einem Bündelfunksystem eine tragende Rolle, da mehrere Kanäle (Kanalbündel) von mehreren Teilnehmern einer Anwendergruppe benutzt werden. Um die Benutzung von freien Ressourcen zu erleichtern, gibt es im TETRA-Standard zwei Methoden bei der Zuweisung von Verkehrskanälen: *Transmission Trunking* (Übertragungsbündelung) und *Message Trunking* (Nachrichtenbündelung). Unter Übertragungsbündelung versteht man die Methode, einen Verkehrskanal aus dem Kanalbündel nur dann zu belegen, wenn tatsächlich Sprachaktivität vorliegt, und ihn danach sofort wieder freizugeben. Während dieser Freigabe kann der Kanal einer anderen Verbindung zugewiesen werden. Der betroffene Verkehrskanal wird somit nur für die Dauer einer individuellen Transaktion belegt. Bei der Nachrichtenbündelung wird hingegen der betroffene Verkehrskanal permanent für die gesamte Dauer des Gesprächs belegt, was zu geringerem Protokoll-Overhead, aber auch zu geringerem Durchsatz führt. Der Kanal wird erst wieder freigegeben, wenn die Verbindung explizit vom Initiator der Verbindung (bei Gruppenrufen) oder von jedem Teilnehmer (bei Einzelrufen) beendet wird, oder wenn ein Aktivitätstimer abgelaufen ist (vgl. Barrionuevo, 2002, S.100f).

Im Gegensatz zu den soeben beschriebenen Verkehrskanälen dienen *Steuerkanäle* nur zur Übertragung von Signalisierungsnachrichten und Datenpaketen. Man unterscheidet zwischen fünf verschiedenen Steuerkanälen (vgl. Barrionuevo, 2002, S.101):

- i. *Broadcast Control Channel* (BCCH): Ein unidirektionaler Downlink-Kanal, der von allen Mobilstationen allgemein genutzt wird. Über diesen Kanal werden Netzinformationen sowie Informationen für Zeit- und Verschlüsselungssynchronisation übertragen.
- ii. *Signalling Channel* (SCH): Dieser Kanal wird von allen Mobilstationen geteilt, kann aber Informationen für nur ein Endgerät oder eine Gruppe von Mobilstationen enthalten. Die TETRA-Systemfunktionen erfordern mindestens einen SCH pro Basisstation.
- iii. *Access Assignment Channel* (AACH): Der AACH enthält Angaben über die Zuweisung der nächsten Up- und Downlink-Zeitschlitz auf dem entsprechenden Funkkanal.
- iv. *Stealing Channel* (STCH): Ein bidirektionaler Kanal, der mit einem Verkehrskanal assoziiert ist. Er verwendet einen Teil der Kapazität des Verkehrskanals für die Übertragung von Steuerinformationen. Der STCH wird bei Signalisierung mit hoher Priorität z.B. bei der Zellenwechselprozedur genutzt.

- v. *Linearisation Channel* (LCH): Dieser Kanal wird von den Mobil- und Basisstationen genutzt, um ihre Sender zu linearisieren.

Der TETRA Packet Data Optimized Standard (PDO) wird ausschließlich zur Übertragung von Daten verwendet. Der PDO-Standard basiert auf Paketdatenübertragung und ist der erste europäische Standard, der das statistische Multiplexen von Paketen vieler Datenquellen unter der Steuerung der entsprechenden Basisstation ermöglicht. Die Datenpakete werden nicht regelmäßig (wie zum Beispiel bei GSM) geschickt, sondern so angelegt, wie sie gerade ankommen und dann zusammengemischt. Beim PDO-Modus erfolgt die Übertragung über den gesamten Trägerkanal (entspricht vier Zeitschlitz im V+D-Modus). Dabei können Datenraten von 36 kBit/s pro Träger erreicht werden. Die Länge der Informationsblöcke beträgt im PDO-Modus 124 Bit (vgl. Barrionuevo, 2002, S.103).

3.3.3 Direct Mode Air Interface

Die Luftschnittstelle für den direkten Modus (*Direct Mode Operation*, DMO) ermöglicht die Kommunikation von Mobilstationen (*Direct Mode Mobile Station*, DM-MS) untereinander, ohne Nutzung der Infrastruktur des physikalischen Netzes. Die TETRA-Endgeräte können also wie traditionelle Funktelefone verwendet werden. Typischer Abdeckungsbereich einer Mobilstation im DMO-Modus beträgt dabei bis zu 400 Meter in städtischen Gebieten und bis zu zwei Kilometer in ländlichen Gebieten. Der DMO-Modus muss vom Benutzer explizit aktiviert werden. Entworfen wurde diese Möglichkeit für Situationen, in denen man sich außerhalb der physikalischen Abdeckung des TETRA-Netzes befindet und dennoch eine rasche Kommunikation benötigt wird. Hauptsächlich ist dies in Katastrophensituationen der Fall, in denen das Netz durch unvorhergesehene äußere Umstände nicht zur Verfügung steht (vgl. Barrionuevo, 2002, S.101).

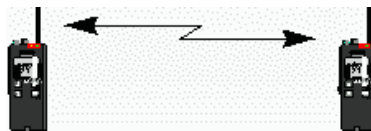
Die angebotenen kanalvermittelten Dienste im DMO-Modus sind Einzelruf, Gruppenruf sowie der Kurznachrichtendienst (*Short Data Service*, SDS). Es wird dabei jeweils nur ein Zeitschlitz pro Verbindung belegt. Die Übertragung erfolgt im Halbduplexmodus. Zur Übertragung im DMO-Modus werden sonst nicht im Netz belegte Frequenzbereiche genutzt. Dem Mobilteilnehmer stehen zu diesem Zweck im Endgerät DMO-spezifische Kanäle zur Verfügung, welche manuell gewählt werden können. Ist der Kanal nicht belegt, so kann eine Verbindung über diesen Kanal aufgebaut werden. Zwischen zwei Endgeräten, die denselben Kanal gewählt haben, wird somit ein Einzelruf aufgebaut. Im DMO-Modus unterscheidet man vier verschiedene Betriebsarten (vgl. Tervonen, 1998):

- i. Mobile-to-Mobile Operation.
- ii. Dual Watch Operation.

- iii. Gateway Operation.
- iv. Repeater Operation.

Beim *Mobile-to-Mobile-Modus* (auch Walkie-Talkie genannt) kommunizieren die Endgeräte über das Direct Mode Air Interface direkt miteinander (siehe Abbildung 6). Die TETRA-Infrastruktur wird dabei überhaupt nicht verwendet. Daher werden in diesem Modus Funktionen der Funk- und Mobilitätsverwaltung nicht unterstützt.

Abbildung 6: Direct Mode Mobile-to-Mobile Operation

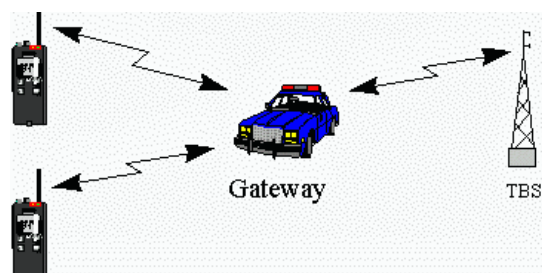


Quelle: Tervonen, 1998

Beim *Dual-Watch-Modus* muss zumindest eines der Endgeräte auf einem anderen Kanal eine Verbindung zu einer Basisstation haben. Dieses Endgerät, das über die Luftschnittstelle mit dem TETRA-Netz kommuniziert, kann von einem anderen Endgerät, das sich nicht im Einzugsbereich einer Basisstation befindet, erreicht werden. Das gleiche gilt auch in umgekehrter Richtung.

Der *Gateway-Modus* ermöglicht die Erweiterung des Abdeckungsbereiches eines TETRA-Netzes mithilfe der so genannten Gateway-Mobilstation, welche über die Luftschnittstelle mit dem TETRA-Netz verbunden ist. Ein Endgerät außerhalb des Abdeckungsbereiches kann über die Gateway-Mobilstation mit dem TETRA-Netz kommunizieren (siehe Abbildung 7). Die Gateway-Mobilstation muss daher gleichzeitig den normalen Kommunikationsverkehr mit der Basisstation abwickeln und den DMO-Verkehr mit den mobilen Endgeräten aufrecht halten können. Die Gateway Mobilendgeräte sind üblicherweise in Fahrzeugen installiert (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7: Direct Mode Gateway Operation



Quelle: Tervonen, 1998

Beim Repeater-Modus werden die Signale zwischen zwei oder mehreren Endgeräten, die im DMO-Modus operieren, durch so genannte Repeater-Mobilstationen verstärkt. Auch in diesem Fall wird die Abdeckung eines TETRA-Netzes erweitert, oder ein sehr einfaches Funknetz mit einem Kanal aufgebaut. Repeater-Mobilstationen müssen sich im Gegensatz zu Gateway-Mobilstationen nicht im Einzugsbereich einer Basisstation befinden. Sie arbeiten unabhängig von der TETRA-Infrastruktur und werden üblicherweise in Fahrzeugen installiert (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8: Direct Mode Repeater Operation



Quelle: Tervonen, 1998

3.3.4 Line Station Interface

Diese Schnittstelle liegt zwischen der Line Station und dem TETRA-Netz. Im Gegensatz zur Funkschnittstelle handelt es sich hierbei um eine drahtgebundene Schnittstelle, über die man die Line Stations mittels ISDN mit dem TETRA-Netz verbinden kann.

3.3.5 Inter System Interface

Dieses Interface dient zur technischen Kopplung von mehreren TETRA-Netzen. Auch Netze von verschiedenen Herstellern können zusammengekoppelt werden. Das ISI ermöglicht beispielsweise die Mobilitätsverwaltung, Teilnehmer-Authentifizierung und Roaming zwischen verschiedenen TETRA-Netzen. Da TETRA-Netze oft nur als Inseln, die die speziellen Anforderungen von einzelnen Organisationen erfüllen, existieren und nicht wie öffentliche Netze volle Abdeckung bieten, spielt diese Schnittstelle eine sehr wichtige Rolle. Es wird damit die Verbindung unabhängiger TETRA-Inseln gewährleistet, und es kann ein einheitliches logisches Netz gebildet werden (vgl. Barrionuevo, 2002, S.98).

3.3.6 Network Management Interface

Diese Schnittstelle sorgt für die Kommunikation zwischen der Network Management Unit und dem TETRA-Netz. Sie ist für die Verwaltung der Netze und für die Konfiguration von einem Terminal aus zuständig.

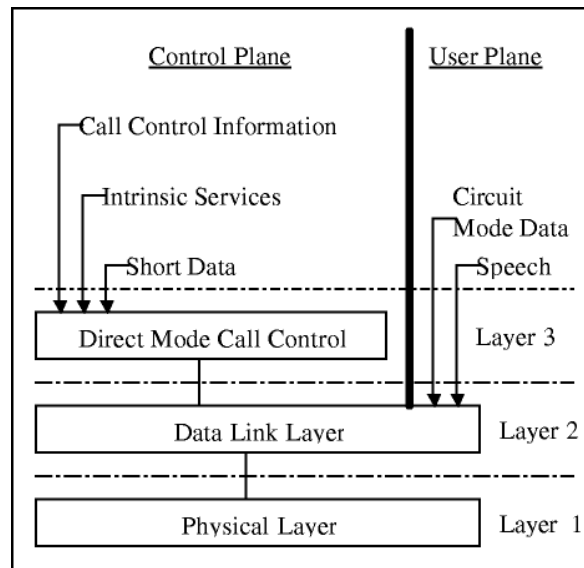
3.3.7 Signalisierungsprotokolle an den Schnittstellen

Es gibt drei Hauptkategorien von Kommunikationsprotokollen im TETRA-Standard (vgl. Barrionuevo, 2002, S.98f):

- i. Protokolle der Teilnehmerschnittstellen.
- ii. TETRA-spezifische Protokolle der Funkschnittstelle, die für die Signalisierung auf der Funkschnittstelle im V+D-, PDO- und DMO-Modus zuständig sind.
- iii. Inter-Networking-Protokolle, die für Inter-System-Signalisierung und Datenkommunikation zwischen TETRA-Netzen sowie zwischen TETRA und fremden Netzen eingesetzt werden.

Der TETRA-Standard definiert Protokolle nur für die unteren drei Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells: Bitübertragungsschicht, Sicherungsschicht und Vermittlungsschicht. Protokolle der Schichten vier bis sieben beziehen sich ausschließlich auf Endgeräte und Benutzerapplikationen und haben nichts mit der TETRA-Infrastruktur zu tun bzw. werden nicht von TETRA spezifiziert. Die Transportschicht, Sitzungsschicht, Darstellungsschicht und die Anwendungsschicht teilen sich in *User Plane* und *Control Plane* und sind für einzelne Services verantwortlich (siehe Abbildung 9). Für die allgemeine Signalisierung zwischen Mobil- und Basisstation wird der Control Plane verwendet. Wenn eine Sprach- oder Datenverbindung geöffnet ist, wird der User Plane genutzt (vgl. Universität Linz, 2004).

Abbildung 9: Protokollstapel von TETRA



Quelle: Universität Linz, 2004

Der *Direct Mode Call Control Block* (DMCC) ist unterteilt in:

- *Call Control Information:* Steuert den Verbindungsauf- und -abbau für Sprach- und Datenverbindungen.
- *Intrinsic Services:* Routinen für die Realisierung von Diensten, wie Rufnummernübermittlung, Rufumleitung und weiteren Zusatzdiensten.
- *Short Data:* Hierin befinden sich alle Routinen, die die Übermittlung von Kurznachrichten realisieren.
- *Mobility Management:* ist für die Registrierung einer Mobilstation an der jeweiligen Basisstation zuständig.

3.4 Alternative Technologien verglichen mit TETRA

3.4.1 Öffentliche Mobilfunknetze

Der Mobilfunk im öffentlichen Bereich hat sich seit der Entwicklung europäischer Standards ab Ende der achtziger Jahre und durch die Beteiligung der Industrie am Standardisierungsprozess durch die Gründung der ETSI in den neunziger Jahren zu einem Massenmarkt entwickelt. Wichtige Voraussetzungen für diese rasche Entwicklung war der technologische Fortschritt in den Bereichen Mikroelektronik, Computer- und Softwaretechnik, Datenkompression, Sicherung und Verarbeitung

von unterschiedlichen Signalen sowie die Entwicklung flexibler Kommunikationsprotokolle. Eine Folge dieser Entwicklungen ist die Tatsache, dass mobile Kommunikation im Geschäfts- und Privatbereich der Menschen immer mehr an Bedeutung gewonnen hat.

Im Zuge der europaweiten Überlegungen zur Einführung einheitlicher nationaler Behördenfunksysteme wurde auch darüber nachgedacht die bestehenden öffentlichen Mobilfunksysteme zu nutzen. Zur genaueren Betrachtung in den folgenden Subkapiteln gelangen das GSM-System (*Global System for Mobile Communication*) und das UMTS-System (*Universal Mobile Telecommunications System*). Eine Gegenüberstellung der technischen Parameter von GSM, UMTS und TETRA liefert Tabelle 3 in Subkapitel 3.4.1.3 Unterschiede zu TETRA.

3.4.1.1 *Global System for Mobile Communication (GSM)*

Das GSM-System ist heute das am weitesten verbreitete Verfahren des Mobilfunks. Es wurde im dritten Quartal 2005 von 1,5 Milliarden Menschen auf der ganzen Welt benutzt (vgl. GSM World, 2006). Dieses digitale System der zweiten Generation hat gegenüber den analogen Systemen der ersten Generation enorme Vorteile. Es eignet sich aber in erster Linie zur Sprachübertragung und durch die relativ niedrige Nutzdatenrate (9,6 kBit/s ohne Einsatz neuerer Verfahren) nur bedingt zur Datenübertragung. Die wichtigsten Anforderungen an ein öffentliches Mobilfunknetz der zweiten Generation werden aber voll erfüllt (vgl. Barrionuevo, 2002, S.128):

- Ein breites Sprach- und Datendienstangebot.
- Kompatibilität zu den leitungsgebundenen Netzen (ISDN, Telefonnetz, Datennetz).
- Länderunabhängiger Systemzugang für alle Mobilfunkteilnehmer.
- Europaweites Roaming und Handover.
- Hohe Effizienz bei der Ausnutzung des Frequenzspektrums mit Hilfe der Vielfachzugriffsverfahren FDMA und TDMA.
- Unterstützung verschiedener Typen mobiler Endgeräte.
- Digitale Übertragung sowohl von Signalisierungs- als auch von Nutzinformationen.
- Unabhängigkeit von Herstellerfirmen durch die Standardisierung.

Erwähnenswert ist, dass das GSM-System mit dem paketorientierten Datendienst GPRS (*General Packet Radio Service*) mit theoretischen Datenraten von bis zu 171,2 kBit/s die Basis für das UMTS-System darstellt und daher als Bestandteil des

UMTS-Systemen betrachtet werden kann. Aus diesem Grund ist zur Errichtung eines UMTS-Netzes keine komplett neue Netzwerkinfrastruktur für die etablierten GSM-Netzbetreiber nötig. Von Seiten der Endgeräte werden so genannte Dual-Mode-Geräte angeboten, die die gleichzeitige Nutzung beider Systeme durch Inter-System-Handover zwischen GSM und UMTS ermöglichen.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, GSM bzw. UMTS zu erweitern, um die spezifischen Anforderungen von PMR-Systemen wie TETRA zu erfüllen. So können beispielsweise mit GSM-ASCI (*Advanced Speech Call Items*) Dienste wie Gruppen- und Rundfunkdienste mit schnellem Verbindungsaufbau und Prioritätssteuerung unterstützt werden. Ein weiteres Beispiel der Weiterentwicklung von GSM stellt das GSM-Railway-Netz (GSM-R) dar. Das GSM-System wurde dabei an die speziellen Anforderungen von Eisenbahnsystemen (beispielsweise die Kommunikation bei Teilnehmer-Geschwindigkeiten bis zu 500 km/h) angepasst. Ein weiteres konkretes Beispiel wird in Subkapitel 3.4.2 GSM-BOS erläutert.

3.4.1.2 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)

Das UMTS-System, als Mobilfunksystem der dritten Generation, ist ein weltweiter Standard für Sprach- und Datenübertragung. Es soll bisherige Systeme zusammenführen und zusätzlich neue Dienste zur Verfügung stellen. Aufgrund der höheren Datenraten (bis zu 2 MBit/s) soll besonders der mobile Zugang zu verschiedensten Internet-Diensten und Multimediaanwendungen möglich sein. Betrachtet man UMTS näher, kann man feststellen, dass sich das System durch die neue auf CDMA beruhende Funkschnittstelle wesentlich von den beiden Systemen GSM und TETRA unterscheidet. Das UMTS-System erfüllt somit eine ganze Reihe von Anforderungen, die mit den beiden anderen Systemen nicht bzw. nur schwer erfüllt werden können (vgl. Barrionuevo, 2002, S.129f):

- Höhere Kapazität und Bandbreite, die breitbandige Datendienste mit Spitzendatenraten bis zu 2 MBit/s und Datenraten von bis zu 384 kBit/s bei großer Geschwindigkeit bis zu 500 km/h bieten. Solche Bitraten liegen deutlich über den Raten von GSM und TETRA.
- Optimale Ausnutzung der Frequenzkapazität durch das CDMA-Verfahren. Dadurch erlaubt UMTS achtmal so viele Benutzer je Trägerkanal wie GSM.
- Durch variable Bitraten wird das so genannte *Bandwidth on Demand*³ ermöglicht.
- Asymmetrie des Datenverkehrs (zum Beispiel für Web-Browsing).

³ „Methode der flexiblen Bandbreitenzuweisung an den aktuellen Benutzerbedarf, die zu einer besseren Ausnutzung der Netzkapazität führt. Die Funktion kann automatisch durch Software aktiviert sein, beispielsweise in Abhängigkeit von einer bestimmten Tageszeit oder bei einer angegebenen Streckenauslastung, oder aber nach Anforderung durch den Nutzer erfolgen.“ (ITWissen, 2006)

- Kompatibilität zwischen der FDD- und TDD-Betriebsart.
- Gleichzeitiger Betrieb mehrerer Dienste innerhalb derselben Verbindung wie beispielsweise Sprache, Video und Paketdaten zur Ermöglichung von Multimedia-Echtzeitanwendungen. Dies wird zur Konvergenz von Telekommunikation und Datenkommunikation führen.
- Flexible Dienstarchitektur und personalisierte Kommunikationsdienste, die unabhängig von Standort, Endgerät und Übertragungsmedium sind.
- Weltweite Integration der heute unterschiedlichen Mobilfunktechnologien, die die Konvergenz von Fest- und Mobilfunknetzen der zweiten und dritten Generation fördert und die globale Erreichbarkeit für UMTS-Teilnehmer gewährleistet.

UMTS zeichnet sich unter anderem durch seine optimale Ausnutzung des Frequenzspektrums aus, da sich einerseits individuelle Anforderungen nach geringer oder hoher Bandbreite ausgleichen und andererseits dadurch, dass Kanäle in Zeiten geringeren Bedarfs eines Benutzers von anderen genutzt werden können. Dieser Vorteil ist allerdings bereits durch GPRS im GSM-System realisiert worden. Auch bei den Übertragungskosten ermöglicht das UMTS-System erhebliche Einsparungen durch effizientere Ausnutzung von Techniken zur Sprachkompression und die Anwendung von Paketdatenübertragung. Der zukünftige Erfolg von UMTS wird allerdings vor allem von der Akzeptanz der angepriesenen neuen Dienste und Anwendungen durch den Benutzer abhängen.

3.4.1.3 Unterschiede zu TETRA

Der wohl wesentlichste Unterschied besteht in der Tatsache, dass die internen Schnittstellen eines TETRA-Netzes im Gegensatz zu GSM oder UMTS nicht standardisiert wurden. Nur externe Schnittstellen, also jene zu anderen Netzen und jene der Endgeräte wurden standardisiert. Die Wahl interner Netzkomponenten eines TETRA-Netzes und der auf den Schnittstellen eingesetzten Signalisierungsprotokolle bleibt den Herstellern überlassen. Das hat aber wie erwähnt zur Folge, dass die Betreiber eines TETRA-Netzes Netzkomponenten nicht bei verschiedenen Herstellern beziehen können. Interessant ist dabei, dass manche Hersteller das vollständig standardisierte GSM-System als Basis für TETRA nehmen und relativ billige GSM-basierte PMR-Ausrüstung anbieten. PMR-spezifische Funktionen (wie beispielsweise Push-To-Talk oder Direct Mode Operations) lassen sich dabei allerdings nicht hundertprozentig realisieren. Ein weiterer bedeutender Nachteil des Einsatzes von GSM in einer PMR-Umgebung ist, dass für ein GSM-Netz mindestens ein Spektrum von 600 kHz vorhanden sein muss. Dies ist für Mittel- und Kleinorganisationen zu groß und wird im Normalfall nur von Großbetrieben effizient ausgenutzt. Benutzer, die auf die Nutzung von PTT oder DMO verzichten können, haben die Möglichkeit,

auf spezielle Produkte der Netzbetreiber öffentlicher GSM-Netze zurückzugreifen, statt ein TETRA-System einzusetzen (vgl. Barrionuevo, 2002, S.129).

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen öffentlichen Netzen wie GSM/UMTS und TETRA besteht in den verwendeten Frequenzbereichen. So arbeiten GSM und UMTS mit Frequenzen im GHz-Bereich und eignen sich hauptsächlich für die Funkversorgung von kleineren Zellen mit mittlerer bis hoher Teilnehmerdichte. TETRA hingegen arbeitet im Bereich um 400 MHz und ist daher gut für die Versorgung von großen Zellen bis 60 Kilometer bei niedriger und mittlerer Teilnehmerdichte, wie es oft in PMR-Umgebungen der Fall ist, geeignet (vgl. Barrionuevo, 2002, S.129).

Zum Abschluss muss noch gesagt werden, dass die Anwenderzahlen von TETRA nie so groß sein werden wie bei GSM oder UMTS. Das liegt einfach in der Tatsache, dass TETRA von vorn herein für professionelle Anwendungen und nicht für die großen Massen geplant wurde. Damit ist es auch unmöglich, dass TETRA ein ähnlich riesiger kommerzieller Erfolg wird wie GSM. Nichts desto trotz hat TETRA bereits über die Grenzen von Europa hinweg für Interesse gesorgt. Ob TETRA, wie GSM, ein weltweiter Standard werden kann, hängt vermutlich auch vom Erfolg der laufenden, und in der vorliegenden Arbeit auszugsweise beschriebenen, europäischen TETRA-Projekte ab.

Tabelle 3: Vergleich der technischen Parameter zwischen GSM, UMTS und TETRA

Merkmal	GSM	UMTS	TETRA
Frequenzspektrum (Einheit: MHz)	890 – 915	1920 – 1980	380 – 390
	935 – 960	2110 – 2170	390 – 400
	(GSM 900)	(UMTS FDD)	(BOS)
	880 – 890	1900 – 1920	410 – 420
	925 – 935	2010 – 2025	420 – 430
	(Extended GSM)	(UMTS TDD)	(Kommerz. Bereich)
	1710 – 1785	1980 – 2010	
	1805 – 1880	2170 – 2200	450 – 460
	(GSM 1800)	(MSS)	460 – 470
	1850 – 1910		870 – 888
1930 – 1990		915 – 933	
(GSM 1900)		(Zuweisung fraglich)	
876 – 880			
921 – 925			
(GSM-R)			

Merkmal	GSM	UMTS	TETRA
Übertragungsrichtung	Duplex	Duplex	Halbduplex (DMO, Gruppenrufe) Duplex (Einzelruf)
Duplexverfahren	FDD	FDD, TDD	FDD
Duplexabstand	45 MHz (GSM 900)	190 MHz (FDD)	10 bzw. 45 MHz
Trägerfrequenzabstand (Kanalbandbreite)	200 kHz	5 MHz	25 kHz
Vielfachzugriff	FDMA TDMA	CDMA	FDMA TDMA
Zeitschlitze pro Trägerfrequenz	8	15	4 (V+D)
Bandbreite (Verkehrskanal)	25 kHz	200 kHz	6,25 kHz (V+D) 25 kHz (PDO)
Max. Datenrate	9,6 kBit/s (GSM) 57,6 kBit/s (HSCSD) 115 kBit/s (GPRS) 384 kBit/s (EDGE)	2 MBit/s (TDD, bis 10 km/h)	28,8 kBit/s (V+D) 36 kBit/s (PDO)
Verbindungsaufbauzeit	< 10 s (typisch 1 – 3 s) 0,5 – 1 s (GPRS)	Wie im GPRS	< 1 s (typisch 300 ms)
Mehrere Verbindungen auf der gleichen Trägerfrequenz	Bis zu 8 Teilnehmer durch Zeitschlitze getrennt, TDMA	FDD-Modus: Teilnehmer durch Codes getrennt, CDMA TDD-Modus: Teilnehmer durch Zeitschlitze und Codes getrennt, TDMA und CDMA	Bis zu 4 Teilnehmer durch Zeitschlitze getrennt, TDMA

Merkmal	GSM	UMTS	TETRA
Gleichzeitige Verbindungen auf der gleichen Trägerfrequenz	Nein	Ja (mehrere Teilnehmer pro Zeitschlitz, durch Codes getrennt, CDMA)	Nein
Gleichzeitige Übertragung von Sprache und Daten	Nein	Ja	Ja (V+D)
Kanalverm. Dienste	Ja	Ja	Ja (V+D, DMO)
Paketdatendienste	Ja (GPRS)	Ja	Ja (V+D, PDO)
Kurznachrichtendienst	SMS bis 160 Byte CB bis 93 Byte MMS, mehrere KByte	Wie im GSM	SDS bis 254 Byte
Direct Mode	Nein	Nein	Ja
Roaming	Ja (in andere GSM-Netze)	Ja (in andere Netze z.B. GSM)	Ja (Migration in andere TETRA-Netze)
Zellengröße (Zellenradius)	300m – 35km Teilnehmerdichte: Mittel bis hoch	Pikozellen: Bis 100m, indoor Mikrozellen: 100m – 300m, outdoor Makrozellen: 300m – 10km, ländliches Gebiet	Große Zellen (bis zu 60km) Teilnehmerdichte: Niedrig bis mittel
Maximale Fahrzeuggeschwindigkeit	Bis 250 km/h	Bis 500 km/h	Bis 200 km/h
Frequenz-Wiederholfaktor	Max. 7	Theoretisch 1	Wie im GSM, jedoch muss die höhere Sendeleistung berücksichtigt werden

Merkmal	GSM	UMTS	TETRA
Verschlüsselung	Auf der Luftschnittstelle	Auf der Luftschnittstelle	Auf der Luftschnittstelle Ende-zu-Ende
Authentifizierung	Authentifizierung des Benutzers	Authentifizierung des Benutzers	Authentifizierung des Benutzers Authentifizierung des Netzes Gegenseitige Authentifizierung von Netz und Benutzer

Quelle: Barrionuevo, 2002, S.118ff (adaptiert)

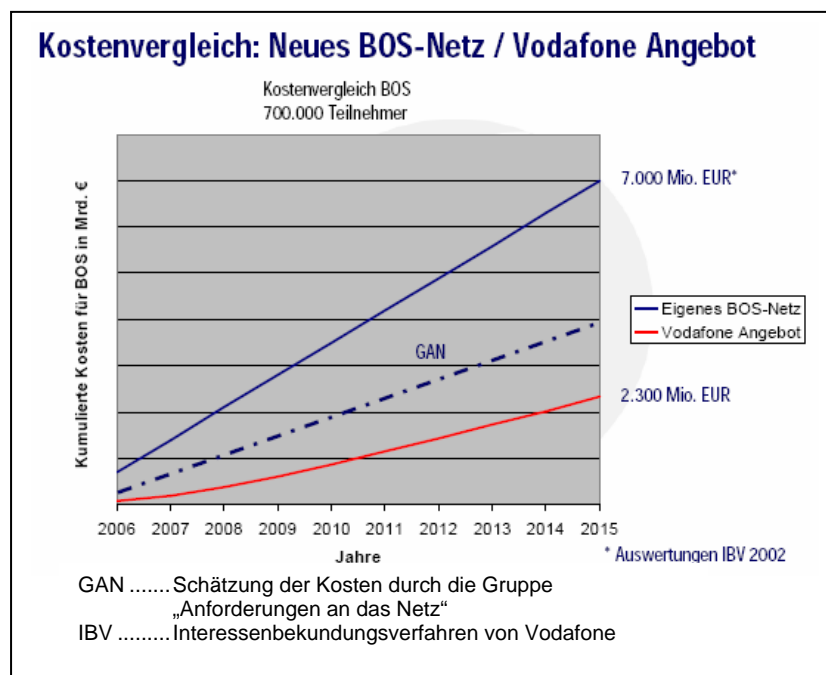
3.4.2 GSM-BOS

Unter dem Titel *GSM-BOS* hat die *Vodafone D2 GmbH* in Deutschland ein digitales Kommunikationssystem für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben vorgestellt, das auf dem bestehenden GSM-Netz aufbaut und die bisherigen Funksysteme von Polizei, Feuerwehr und Rettungsdiensten ersetzen soll. Um die Anforderungen erfüllen zu können, würde Vodafone das bestehende GSM-Netz mit ASCII-Features aufrüsten. Dies ermöglicht die Bereitstellung wichtiger zusätzlicher Dienste, wie Gruppenrufe/Ansagerufe, Notrufe/Prioritätsrufe und Verdrängung bestehender Gespräche. Die folgenden Vorteile von GSM-BOS werden von Vodafone genannt (vgl. Vodafone, 2006):

- Gegenwärtige nahezu vollständige funktechnische Versorgung des Bundesgebietes. Auch Schienentrassen, Tunnel und U-Bahnen sind teilweise versorgt.
- Die Errichtung von neuen Mobilfunkantennen ist nur noch vereinzelt notwendig.
- Durch Roaming-Abkommen reibungsloser grenzüberschreitender Betrieb, wie beispielsweise Interoperationalität mit anderen Schengen-Staaten, Nachverfolgung und Auslandseinsätze.

- Nutzung innovativer Datendienste (zum Beispiel Übertragung biometrischer Daten) und Anwendungen per GPRS und HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) mit hohen Datenraten.
- Flexibilität in der Wahl der Endgeräte (Professionelle Endgeräte mit Ende-zu-Ende-Verschlüsselung oder preisgünstige Standardgeräte).
- Erweiterung der BOS-Funktionalitäten um innovative GSM-Services möglich (beispielsweise Multi-Media-Messaging oder Location Based Services).
- Alarmierung von Einsatzkräften (Paging) mittels SMS in GSM-BOS Funkgeräte integriert (siehe 5.3.6 Probleme bei der Integration der Feuerwehren)
- Niedrige Tarife durch Ausschöpfung hoher Synergien innerhalb von Vodafone: Vorgesehene Nutzungskosten über eine Laufzeit von zehn Jahren in der Höhe von rund 2,3 Milliarden Euro (siehe Abbildung 10).
- Bereitstellung ab 2005 möglich, da vorhandene Systeme mitgenutzt werden können (also noch vor der Fußball-WM 2006).

Abbildung 10: Kostenvergleich GSM-BOS



Quelle: Vodafone, 2006

Der heutige Stand der Implementierung ist laut Vodafone nicht die endgültige Lösung. Auf mehreren Gebieten müssten Adaptierungen bzw.

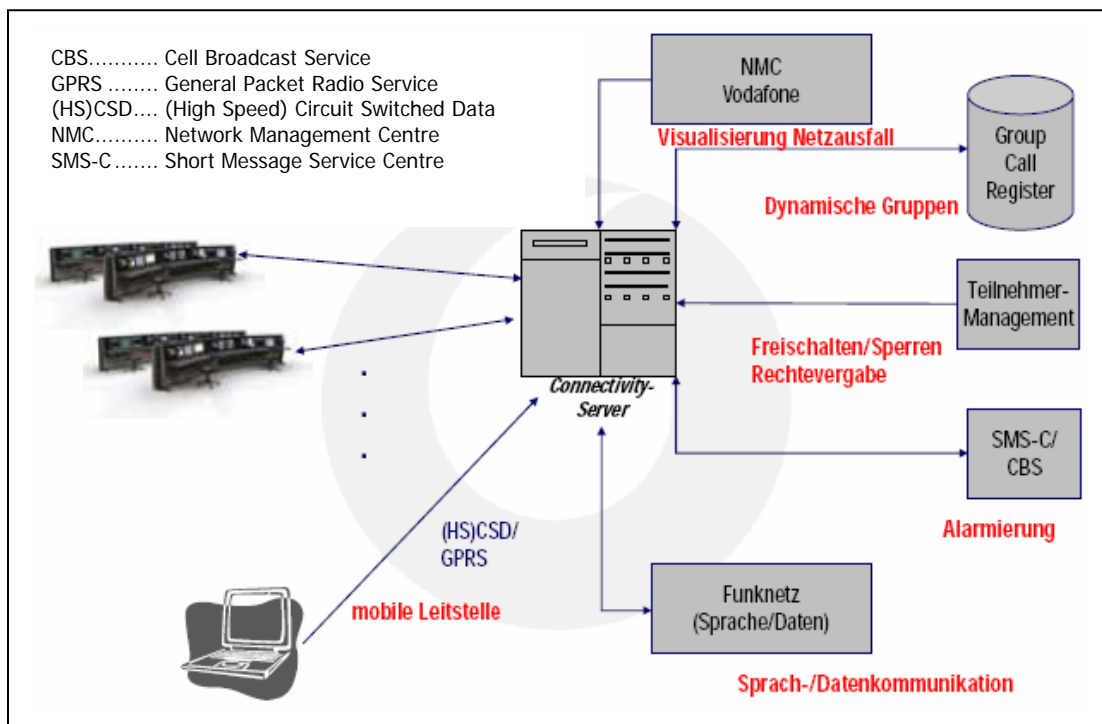
Weiterentwicklungen vorgenommen werden, um die Anforderungen von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben auch tatsächlich erfüllen zu können (vgl. Vodafone, 2006):

- Ein wichtiger Aspekt ist, dass in Gefahren- oder Notsituationen immer ein freier Kommunikationskanal zur Verfügung stehen muss. Dies soll durch ein spezielles System mit Prioritätsstufen, Rufaufbauzeitklassen, Verdrängung/Priorisierung und speziellem Warteschlangen-Management erreicht werden.
- Kommunikation in Gruppen ist die Standard-Kommunikationsart: Jedem Teilnehmer muss an jedem beliebigem Standort möglich sein, ein Mitglied einer oder mehrerer Gruppen zu sein. Leitstellen als besondere Bedeutungsträger müssen in die Kommunikation eingebunden werden. Die Realisierung erfolgt einerseits über Ansagerufe (*Voice Broadcast Service, VBS*) und andererseits über Gruppenrufe (*Group Call*). Beim VBS wird ein dezidiertes Kanal zum Initiator aufgebaut mit Downlinks in jede Zelle der Group-Call-Area. Beim Group Call wird ebenfalls ein Downlink in jede Zelle aufgebaut, der Uplink wird vom Sprecher allerdings nur temporär genutzt.
- Der Aufbau einer Verbindung muss mit einem Tastendruck erfolgen können. Dabei ist zu beachten, dass zwischen Betätigung der PTT-Taste und dem Verbindungsaufbau keine merkliche Verzögerung entsteht (< 500 Millisekunden). Auch sollte der nachträgliche Eintritt in eine bestehende Verbindung (*Late Entry*) jederzeit möglich sein. Aus den genannten Gründen ist für BOS der Betrieb von so genannten offenen Kanälen vorgesehen. Dabei werden dauerhaft betriebene offene Kanäle (rund um die Uhr mit Einbindung der Leitstelle) für Polizei und Rettungsdienste und einsatzbezogene offene Kanäle (Aktivierung mit Beginn des Einsatzes bzw. der Alarmierung) für die Feuerwehren unterschieden.
- Die Leitstellen müssen Funktionalitäten aus dem Funknetz zur Verfügung stellen, die es erlauben, taktisch-operative Aufgaben zu erfüllen. Dies soll durch eine spezielle Systeminfrastruktur gewährleistet werden (siehe Abbildung 11).
- Der Zugang zu den Datenbanken mit Einsatzbezug soll unter Echtzeitbedingungen den Informationsaustausch zwischen zentralen Datenbanken und den Abfragegeräten erlauben. Die Datenübertragung erfolgt mittels GPRS und HSCSD. Durch ein spezielles Kodierungsverfahren steigt die Übertragungsleistung der einzelnen GSM-Kanäle von 9,6 kBit/s auf 14,4 kBit/s. Durch Bündelung der GSM-Kanäle wäre theoretisch eine Übertragungsgeschwindigkeit von bis zu 171,2 kBit/s möglich, allerdings kann die Datenrate im deutschen Vodafone-Netz 38,4 kBit/s nicht übersteigen, auch wenn die Endgeräte eine höhere Geschwindigkeit

unterstützen. Diese Grenze wird bereits durch die Bündelung von drei GSM-Kanälen erreicht.

- Die Kommunikation muss auch ohne die Einbeziehung der Infrastruktur, also von Endgerät zu Endgerät, möglich sein (Direct Mode). Durch spezielle Endgeräte sollen dafür die Frequenzen von TETRA genutzt werden.
- Die Funkversorgung von Luftfahrzeugen der BOS, unter Berücksichtigung der üblichen Flughöhe (bis zu drei Kilometer) und Fluggeschwindigkeit, muss sichergestellt werden. Bereits heute wird für die Küstenversorgung von Vodafone eine Bündelung der Zeitschlitz des TDMA (*Extended Range*) eingesetzt. Damit wird eine theoretische Entfernung von 70,4 Kilometer ermöglicht.
- Zur Alarmierung via SMS ist eine direkte Anbindung der Leitstelle an die autarken Kurzmitteilungszentralen der BOS-Organisation vorgesehen. Die Alarmierung erfolgt über Gruppen-SMS mit einem Durchsatz von 200 SMS pro Sekunde und einer durchschnittlichen Auslieferungszeit von acht Sekunden. Ergänzend können Alarmierungen auch über CBS erfolgen, dabei werden Mitteilungen an alle berechtigten Teilnehmer in einem definierten Gebiet ausgestrahlt (vergleichbar mit traditionellem Rundfunk).
- Zur Verschlüsselung an der GSM-Luftschnittstelle soll in Zukunft der Algorithmus A5/3 verwendet werden. A5/3 wurde bereits 2002 durch die ETSI standardisiert. Er basiert auf dem Verschlüsselungsalgorithmus von UMTS, *Kasumi*, und es sind noch keine Schwächen des Algorithmus bekannt.
- Eine Ende-zu-Ende Verschlüsselung auf GSM-Geräten ist heute bereits realisiert (z.B. Top Sec von Rohde & Schwarz). Zukünftige Entwicklungsansätze sollen die Implementierung des Kryptokonzeptes des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) in GSM-Endgeräte ermöglichen. Die Funkgeräte setzen dabei auf der Applikation im zertifizierten Verschlüsselungsmodul über eine vorgesehene Schnittstelle auf. Das Schlüsselmanagement soll durch eine vom Netzbetreiber unabhängige Instanz erfolgen.

Abbildung 11: GSM-BOS, Anbindung der Leitstellen



Quelle: Vodafone, 2006

Was die Endgeräte für GSM-BOS betrifft, so sollen Dual-Mode-Handfunkgeräte zum Einsatz kommen. Damit sollen, wie bereits erwähnt, die Kommunikation im GSM-Netz und Direct Mode Operationen (DMO) des TETRA-Standards möglich gemacht werden. Das Gerät besteht aus einem Grundgerät TETRA und einem Batteriemodul GSM mit jeweils eigenen SIM-Karten (siehe Abbildung 12). Als Hersteller der Beiden Module werden DeTeWe Funkwerk (Grundgeräte, zum Beispiel TECOM 21 Public Safety) und Sagem SA (Batteriemodul, beispielsweise MO 190) genannt. Mit den speziellen Funkgeräten sollen vier Kommunikations-Modi möglich sein (vgl. Vodafone, 2006):

- i. Direct Mode (TETRA DMO): Direktmodus 380 bis 400 MHz, Einzelruf, Gruppenruf.
- ii. Netzmode (GSM): Telefonruf / Als Dispatcher in Gruppenkommunikation.
- iii. Dual Watch Modus: Gleichzeitige Erreichbarkeit im DMO- als auch im GSM-Modus.
- iv. Gateway Modus: Umsetzung des Direct Modes in den Netzmode.

Abbildung 12: Dual Mode Handfunkgerät

Quelle: Vodafone, 2006

Neben den vorgebrachten Vorteilen und Möglichkeiten durch den Netzbetreiber wurden allerdings auch kritische Stimmen gegen GSM-BOS laut. So sprach sich zum Beispiel der Verein *Professioneller Mobilfunk e.V.* eindeutig gegen die Lösung von Vodafone und für den TETRA-Standard aus. Es wird angemerkt, dass kein einziges europäisches Land ein GSM-System für die Kommunikation seiner Sicherheitsbehörden gewählt hat. Grenzüberschreitende Kommunikation mit benachbarten Staaten wäre unmöglich und man wäre somit international völlig isoliert (vgl. Professioneller Mobilfunk e.V., o.J.). Die in dieser Arbeit erwähnten Bestrebungen durch das Schengener Abkommen würden demnach ebenfalls mit der Nutzung von GSM-BOS unberücksichtigt bleiben.

3.4.3 Tetrapol

Tetrapol ist wie TETRA ein digitales, zelluläres Bündelfunksystem für Sprach- und Datenübertragung. Ursprünglich wurde die Entwicklung von Tetrapol in Frankreich vom Unternehmen *Matra Communication*, aufgrund einer Ausschreibung der französischen Gendarmerie für ein nationales digitales Bündelfunksystem im Jahr 1987 gestartet⁴. Später wurde die Technologie von zwei Organisationen, dem *Tetrapol-Forum* (hauptsächlich Hersteller) und dem *Tetrapol User's Club* (Benutzerorganisationen), unterstützt und weiterentwickelt. Erste Kunden für Tetrapol waren dem zufolge die französische Gendarmerie (Mitte 1992) und die französische Polizei (Anfang 1995). Im Sommer 2000 waren bereits 45

⁴ Zu diesem Zeitpunkt hieß das System auch noch *Matracom 9600*.

Tetrapolnetze im Aufbau oder in Betrieb, mit einem Versorgungsbereich von insgesamt rund 650.000 Quadratkilometer und einer Teilnehmerzahl von rund 250.000 (vgl. Bakom, 2001). Tetrapol hat trotz der Verwechslungsgefahr durch den ähnlich klingenden Namen eigentlich nichts mit TETRA zu tun. Im Gegensatz zu TETRA handelt es sich bei Tetrapol nicht um einen vom ETSI anerkannten europäischen Standard. Tabelle 4 liefert einen Überblick der wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Systemen.

Tabelle 4: Funktechnischer Vergleich TETRA – Tetrapol

Merkmal	TETRA	Tetrapol
Sendefrequenzen	385 – 390 MHz, gepaart mit 395 – 399,9 MHz 410 – 430 MHz 450 – 470 MHz 870 – 876 MHz, gepaart mit 915 – 921 MHz (Das jeweils genutzte Frequenzband ist landesabhängig, je nach den anderen dort eingesetzten Funkdiensten)	Spezifiziert ist der Bereich von 70 - 520 MHz, der tatsächlich genutzte Frequenzbereich ist landesabhängig (ähnlich wie bei TETRA)
Sendeleistung Basisstation	25 Watt (typisch), keine Leistungsregelung	3 – 50 Watt (je Kanal, fest eingestellt)
Sendeleistung Mobilgerät	1, 3 oder 10 Watt, mit optionaler Leistungsregelung	1, 2 oder 10 Watt (typisch 2 Watt), mit Leistungsregelung
Reichweite	Ca. 14 km auf dem Land und 4,5 km im städtischen Gebiet	Bis zu 30 km auf dem Land und 6 km im städtischen Gebiet
Kanalzugriffsverfahren	Zeitmultiplex (TDMA), vier Zeitschlitze zu je 14,167 ms in einem Rahmen von 56,67 ms (Puls-Wiederholfrequenz also 17,65 Hz)	Frequenzmultiplex (FDMA), Kanalraster 10 oder 12,5 KHz, typischerweise 4 bis 8 Kanäle pro Basisstation (max. 24)

Quelle: Wölfe, 2005

Ähnlich wie TETRA bietet Tetrapol zahlreiche Dienste an, die in öffentlichen Mobilfunksystemen teilweise nicht vorhanden sind. Es werden drei Arten von Diensten unterschieden: Tele-, Daten- und Zusatzdienste. Zu den angebotenen Telediensten gehören (vgl. Bakom, 2001):

- *Individual Call* (Individualruf): Dieser Dienst entspricht der Verbindung in einem öffentlichen Mobilfunksystem wie GSM oder UMTS.
- *Group Call* (Gruppenruf): Ein bestimmter Teilnehmer ruft eine vorbestimmte Gruppe. Jedes Gruppenmitglied kann mithören und mitsprechen. Die Gruppen können dynamisch modifiziert werden.
- *Direct Mode*: Zwei oder mehrere Mobilstationen kommunizieren direkt miteinander, ohne eine Basisstation mit einzubeziehen.
- *Broadcast Call*: Unidirektionale Punkt-zu-Multipunkt-Verbindung in einem bestimmten Gebiet ohne Quittierung durch die einzelnen Teilnehmer.
- *Emergency Call*: Verbindungsaufbau mit hoher Priorität zu einem Dispatcher oder einer vorbestimmten Gruppe mittels Notruftaste.
- *Include Call*: Einbindung von weiteren Teilnehmern während eines Gespräches.
- *Open Channel*: Auf einem bestimmten Kanal kann sich eine Gruppe von Teilnehmern, während einer festgelegten Zeit, miteinander unterhalten. Jeder hört jeden und jeder kann sprechen. Um an einem derartigen Gespräch teilzunehmen, muss vom Benutzer die Nummer der *Talk Group* eingegeben werden. Die Nummern von aktiven Talk Groups werden auf einem Kontrollkanal ausgesandt und sind somit allen Teilnehmern im Netz bekannt.

Folgende Datendienste werden von Tetrapol angeboten (vgl. Bakom, 2001):

- *Paging*: Kurze Mitteilungen werden von einem Dispatcher an die Mobilstationen gesandt und von dieser quittiert.
- *Status Transmission*: Kurze, vordefinierte Meldungen werden vom Dispatcher an die Mobilstationen oder umgekehrt bzw. zwischen den Mobilstationen übermittelt.
- *Short Data Messaging*: Kurze Meldungen, die sehr schnell zwischen den Teilnehmern ausgetauscht werden.
- *X.25 Packet Data Service*: Dieser Dienst ermöglicht den raschen Aufbau einer X.25-Verbindung zwischen zwei Endgeräten. Weiters kann eine Verbindung zwischen einer Mobilstation und einem *Packet Data Network* errichtet werden.

- *TCP/IP Access*: Damit wird für die Mobilstationen ein Zugang zum Internet oder zu bestimmten Servern, die das TCP/IP-Protokoll unterstützen, ermöglicht.

Neben den aufgezählten Tele- und Datendiensten stehen auch noch Zusatzdienste zur Verfügung (vgl. Bakom, 2001):

- *Ambience Listening* (Mikrofonfreischaltung): Durch diesen Dienst ist es möglich, bei unklaren und gefährlichen Situationen unbemerkt in ein Fahrzeug hineinzuhören. Dies ist vor allem für die Polizei oder andere Sicherheitsdienste vorgesehen.
- *Priority Call* (Prioritätsruf): Dieser Dienst erlaubt einem Teilnehmer dem Ruf eine Priorität zu verleihen. Rufe, die eine tiefere Priorität haben, werden erst nach diesem Ruf abgearbeitet. Sind keine Netzwerkressourcen mehr zur Verfügung (da beispielsweise alle Kanäle besetzt sind), kann man mit dem so genannten *Pre-Emptive Priority Call* nötige Ressourcen freischalten. Verbindungen mit der tiefsten Priorität werden dann abgebrochen.
- *Late Entry*: Dieser Dienst ermöglicht einem Teilnehmer, sich später in ein Gruppengespräch einzuschalten, wenn er zum Beispiel beim Aufruf zum Gruppengespräch besetzt war oder das Endgerät noch nicht eingeschaltet hatte.

Trotz der unverkennbaren Ähnlichkeit zu TETRA hat Tetrapol einige Vorteile gegenüber TETRA (vgl. Bakom, 2001):

- Die maximal möglichen Zellenradien sind bis zu 50% größer, bei gleicher Sendespitzenleistung. Tetrapol braucht unter diesen Voraussetzungen nur etwa die halbe Anzahl Basisstationen wie TETRA, um ein gewisses Gebiet abzudecken. Dieser Vorteil trifft aber nur zu, solange das Verkehrsaufkommen klein ist.
- Kanalraster ist 12,5 kHz, das heißt gute Koexistenz mit bestehenden Systemen und geringe Außerbandaussendungen.
- Gleichwellenfunk ist mit Tetrapol einfacher zu realisieren.

Neben den genannten Vorteilen existieren aber auch Nachteile im Vergleich mit dem TETRA-Standard (vgl. Bakom, 2001):

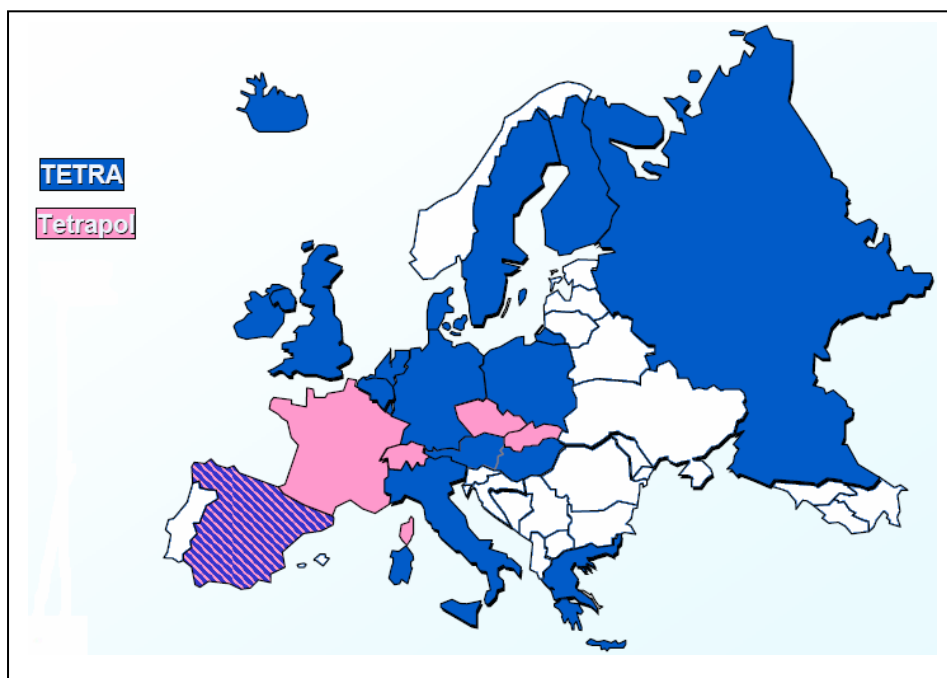
- Duplexbetrieb ist nur mit einigem Aufwand (Antennenweiche in der Mobilstation) möglich.

- Die Datenraten von Tetrapol sind, je nach Kanalbündelung von TETRA, bis um den Faktor 4 kleiner als diejenigen von TETRA.
- Die Spektrumseffizienz von Tetrapol ist, je nach Umgebung, um den Faktor 1,16 bis 2,0 kleiner als diejenige von TETRA.
- TETRA ist ein anerkannter Europäischer Standard, und Tetrapol wurde bis jetzt noch nicht als ETSI-Standard akzeptiert.

Wenn man abschließend einen Blick auf die Landkarte Europas (siehe Abbildung 13) wirft, so lässt sich eindeutig feststellen, dass Implementierungen bundesweiter Behördenfunknetze nach dem TETRA-Standard, sowohl nach der Anzahl der Staaten, als auch nach der Anzahl der Benutzer, die Mehrheit gegenüber Tetrapol-Implementierungen genießen.

Als einziger Fall in Europa kommen in Spanien beide Systeme großflächig zum Einsatz. Tetrapol wird dabei von den Organisationen *Guardia Civil* und *National Police* verwendet. TETRA hingegen wird von der Polizei in den Gebieten Madrid, Baskenland, Katalonien und Navarra verwendet (vgl. T-Systems, o.J.).

Abbildung 13: Digitaler Behördenfunk in Europa



Quelle: Rohde & Schwarz, 2006, S.14

4 Die Verbreitung von TETRA in Europa

4.1 Vorgaben und Initiativen der Europäischen Union

4.1.1 Schengener Abkommen

Am 14. Juni 1985 unterzeichneten die Vertreter der fünf EU-Mitgliedstaaten Belgien, Deutschland, Frankreich, Luxemburg und Niederlande bei Schengen (Luxemburg) das Schengener Abkommen. Es wurde vereinbart, auf Kontrollen des Personenverkehrs an den gemeinsamen Grenzen zu verzichten, und nur an den Außengrenzen zu Drittstaaten genaue Kontrollen durchzuführen. Am 19. Juni 1990 unterzeichneten die erwähnten Länder dann das Schengener Durchführungsübereinkommen (SDÜ), in dem die konkreten Verfahrensabläufe der Umsetzung des Abkommens, also des schrittweisen Abbaus der Kontrollen an den gemeinsamen Grenzen, in gesetzlicher und technischer Hinsicht festgelegt sind. Es ist zu unterscheiden zwischen dem formalen Inkrafttreten des multilateralen Vertrages nach Ratifikation durch alle teilnehmenden Staaten und der tatsächlichen Abschaffung der Grenzkontrollen. Die Grenzkontrollen können in einem Land erst dann faktisch abgeschafft werden, wenn die technischen Voraussetzungen, wie beispielsweise die Anbindung des Landes an das Schengener Informationssystem (SIS), erfüllt sind. Dies kann nach den bisherigen Erfahrungen bis zu einigen Jahren dauern.

Durch das Schengen-Protokoll zum Amsterdamer Vertrag vom 02.10.1997 wurde das Schengener Abkommen mit Wirkung vom 01.05.1999 auch formal in die Europäische Union übernommen. In Erfüllung des Mandats gemäß Artikel 44 SDÜ legte die Untergruppe „Telekommunikation“ des Arbeitsbereiches I „Polizei und Sicherheit“ (SCH/I-telecom) taktische und betriebliche Anforderungen an künftige grenzüberschreitende digitale Funksysteme der Polizei- und Zolldienste der Schengen-Staaten und Regeln für die Herstellung und Verwaltung einheitlicher Verschlüsselungsalgorithmen fest. Folgende, daraus resultierende, neun Dokumente erhielten am 28. April 1999 die Zustimmung des Exekutivausschusses (vgl. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 2000, S.409f):

- i. SCH/I-telecom (92) 21, 2. Rev vom 12. Juni 1992: Definition der Anforderungen an das künftige Funksystem der Polizei-/Zolldienste.
- ii. SCH/I-telecom (95) 18 vom 08. Juni 1995: Digitales Funk- und Kommunikationssystem für Sicherheitsbehörden (taktische und betriebliche Anforderungen).

- iii. bSCH/I-telecom (96) 44, 5. Rev vom 14. November 1997: Anforderungen an die Endgeräte und deren Bedienoberfläche in den zukünftigen digitalen Bündelfunksystemen der Schengener Staaten.
- iv. SCH/I-telecom (95) 33, 2. Rev vom 06. Dezember 1995: Ersuchen an ETSI um Prüfung europäischer Normen, die die taktisch-betrieblichen Anforderungen der Schengen-Behörden erfüllen.
- v. SCH/I-telecom (95) 35 vom 21. November 1995: Schengen-Kommunikationsanforderungen und der TETRA-Standard gemäß Bericht der ETSI.
- vi. SCH/I-telecom (95) 37, 4. Rev vom 08. Juli 1996: Sicherheitsanforderungen der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben an ein digitales Funknetz.
- vii. SCH/I-telecom/crypto (97) 7, 5. Rev vom 24. Februar 1998: Vereinbarung zur Nutzung und Verwahrung von Schengen-Algorithmen.
- viii. SCH/I-telecom/crypto (97) 10, 2. Rev vom 24. Februar 1998: Kriterien für die Herstellung von Schengen-Algorithmen.
- ix. SCH/I (98) 17, 4. Rev vom 26. Mai 1998: Änderung des Mandats der Untergruppe Telekommunikation zur Prüfung von Interoperabilitätsfragen unterschiedlicher Digitalfunkssysteme.

4.1.2 Das Dreiländerprojekt

Im Rahmen dieses Projekts wurde die grenzüberschreitende Funkkommunikation der Sicherheitsbehörden auf der Basis des TETRA-Standards getestet. 1996 erteilte die Schengener „Zentrale Gruppe“ der Unterarbeitsgruppe „Telecom“ das Mandat, diesen grenzüberschreitenden Test für Sprach- und Datenkommunikation im Grenzgebiet Lüttich, Aachen und Maastricht durchzuführen. Das Projekt diene in erster Linie zur Überprüfung der Tatsache, ob der TETRA-Standard auch allen operativen Anforderungen genügt, die in den oben angeführten Schengen-Katalogen von 1992 bis 1996 definiert wurden. Zugleich sollten auch organisatorische Aspekte des grenzüberschreitenden Funkverkehrs, unter Berücksichtigung verschiedener nationaler und internationaler Sicherheitsanforderungen, analysiert und die einzelnen Vorgehensweisen und Prozessabläufe harmonisiert werden. Um die formulierten Ziele effektiv und effizient erfüllen zu können, haben die Innenminister der beteiligten Länder auf der Grundlage einer zwischenstaatlichen Vereinbarung eine gemeinsame Projektorganisation eingerichtet. Dieses *Memorandum of Understanding* wurde am 20. Januar 2003 von den Innenministern aus Belgien, Deutschland und dem Staatssekretär des Innenministeriums der Niederlande in Aachen unterzeichnet.

Die teilnehmenden Organisationen an diesem Pilotprojekt waren (vgl. Three Country Pilot, 2003b):

- In *Deutschland* (Pilotprojekt Digitalfunk Aachen): Polizei Aachen, Feuerwehr der Stadt Aachen, Feuerwehr und Rettungsdienst Kreis Aachen, der Bundesgrenzschutz (BGS), Zoll und das Technische Hilfswerk (THW).
- In *Belgien* (Projekt Astrid): Bundes- und örtliche Polizei, Feuerwehr, Zivilschutz, Zoll und Rettungsdienst.
- In den *Niederlanden* (Projekt C2000): Der Rettungsdienst und die Feuerwehr in der Region Süd-Limburg, die regionalen Polizeikräfte in Süd-Limburg, die Militärpolizei (zuständig für Passkontrolle, Grenzkontrolle aber nicht Zollaufgaben und die Kontrolle militärischer Objekte) und die nationale Polizei.

Die beteiligten Sicherheitsbehörden im Dreiländereck Süd-Limburg, dem Kreis und der Stadt Aachen sowie der Region Lüttich wurden aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung in der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit ausgewählt. Sie sind somit wesentlicher Bestandteil des Projektes. Die Untersuchung wurde mittels praktischer Tests in realitätsnahen Szenarien durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse wurden beurteilt und mit Empfehlungen für die Technik sowie die Organisation und für Entscheidungen auf Regierungsebene fertig gestellt. Während der Testphase wurden verschiedene Szenarien getestet, von einfachen Tests innerhalb einer Nutzerorganisation bis hin zu komplexen internationalen Szenarien unter Beteiligung mehrerer Organisationen. Es wurden zum Beispiel ein Großbrand in der Grenzregion, ein schwerer Unfall und ein internationales Szenario unter Einsatz aller Nutzerorganisationen der beteiligten Länder simuliert. Die ersten Feldversuche fanden bereits im Mai 2003 statt (vgl. Three Country Pilot, 2003a).

Während des Tetra-World-Congresses in Kopenhagen erhielt die internationale Projektorganisation des Dreiländerprojekts den Preis "*Most Outstanding Contribution to TETRA*". Dieser Preis wurde im Jahr 2003 an das herausragendste TETRA-Projekt vergeben. Ray Gimán, der Vorsitzende des TETRA MoU Vorstands, übergab den Preis an Frau Inge Elfrink, die das niederländische Mitglied im leitenden Gremium (*Steering Committee*) des Dreiländerprojekts war. Nach den Worten von Ray Gimán überprüfte das Dreiländerprojekt weltweit erstmals die Möglichkeit der grenzüberschreitenden Funkkommunikation und zeigte, dass dies mit der TETRA Technologie möglich ist (vgl. Three Country Pilot, 2003a).

Der Abschlussbericht (*Final Report*) wurde am 19. November 2003 dem niederländischen Innenminister in Maastricht überreicht. Anlass dafür war ein zweitägiges Symposium in Bezug auf die Inbetriebnahme des C2000-Funknetzes für die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben in der Provinz Süd-Limburg. Die wichtigste Feststellung des Abschlussberichts ist die Notwendigkeit

der Kopplung der jeweiligen Landesnetze, damit zukünftig reibungslose, grenzüberschreitende Zusammenarbeit möglich ist (vgl. Three Country Pilot, 2003b).

4.2 Belgien: ASTRID

4.2.1 Historische Entwicklung

Die folgende Tabelle 5 zeigt einen historischen Überblick der Ereignisse in Belgien, die letztendlich in der Gründung einer Organisation zur Entwicklung eines einheitlichen Behördenfunknetzes basierend auf dem TETRA-Standard und in der Auswahl des geeigneten Lieferanten gipfelten.

Tabelle 5: Historische Entwicklung in Belgien

Datum	Ereignis
05. Juni 1990	Mitteilung der Regierung im Bereich der Ordnungshütung der öffentlichen Sicherheit und der Bekämpfung von Kriminalität: „Die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Polizeidiensten wird durch mangelnde Kommunikationsmittel verhindert oder erschwert“. ➔ Bildung einer dienstübergreifenden Projektgruppe.
05./19. Juni 1992	Annahme des allgemeinen Konzeptes eines Funknetzes für alle Rettungs- und Sicherheitsdienste durch den Ministerrat. ➔ Beschluss zur Antragstellung auf europäische Beteiligung. ➔ Beschluss zur Aufstellung einer Kurzliste ausgewählter Bewerber. ➔ Beschluss zur begrenzten Ausschreibung in Form eines Wettbewerbs mit Jury.
17. Juli 1992	Antrag auf Beteiligung von europäischer Seite.
28. Sept. 1992	Veröffentlichung des ersten funktionsbeschreibenden Pflichtenhefts.
20. Dez. 1993	Der Innenminister erstellt eine Kurzliste mit sechs Konsortien.

Datum	Ereignis
16. März 1995	Das funktionsbeschreibende und technische ASTRID-Pflichtenheft wird von der dienstübergreifenden Projektgruppe genehmigt.
20. März 1995	Das funktionsbeschreibende und technische Sonderpflichtenheft wird den sechs Konsortien übermittelt.
03. Febr. 1997	Drei von sechs Konsortien reichen Angebot ein (Kreutler-Nokia-Telindus, Matra und Motorola-SAIT-Fabricom).
21. März 1997	Der Ministerrat beschließt, keinen Zuschlag für den Auftrag zu erteilen, sondern das Wettbewerbsverfahren in ein Verhandlungsverfahren umzuwandeln. Die ersten Angebote verstoßen aus technischen Gründen gegen die Spezifikationen.
04. Juli 1997	Veröffentlichung des funktionsbeschreibenden und technischen Pflichtenhefts von ASTRID im Rahmen des Verhandlungsverfahrens.
19. Sept. 1997	Die drei Konsortien reichen überarbeitete Angebote ein.
20. Sept. 1997	Technische Auswertung der überarbeiteten Angebote.
19. Febr. 1998	Ende der technischen Auswertung.
08. Juni 1998	Gründung der öffentlich-rechtlichen Aktiengesellschaft ASTRID per Gesetz.
26. Juni 1998	Das Konsortium KNT (Kreutler-Nokia-Telindus) erhält den Auftrag.

Quelle: Astrid, 2005 (adaptiert)

4.2.2 Die Betreiberorganisation

In Belgien wurde am 08. Juni 1998 die Firma ASTRID AG zur Gewährleistung der Entwicklung, Verwaltung und Instandhaltung eines landesweiten digitalen Mobilfunknetzes zur Übertragung von Sprache und Daten errichtet. Es handelt sich dabei um eine von den belgischen Gemeinden unterstützte Initiative des Föderalstaates⁵. ASTRID hatte den Auftrag, ein Funkkommunikationsnetz für die

⁵ Belgien ist seit 1993 ein Bundesstaat, bestehend aus den Regionen Flandern, Wallonien sowie Brüssel. Die Regionen Flandern und Wallonien sind ihrerseits wiederum in fünf Provinzen unterteilt. Die unterste Ebene der Selbstverwaltung bilden 589 Gemeinden.

belgischen Rettungs- und Sicherheitsdienste, der Staatssicherheit sowie der öffentlich- oder privatrechtlichen Einrichtungen, Gesellschaften und Vereine, die Dienstleistungen im Rettungs- und Sicherheitsbereich erbringen, zu schaffen, zu betreiben, zu unterhalten, anzupassen und weiterzuentwickeln. Als Rechtsgrundlage dienen das erlassene Gesetz, der Betreibervertrag und die festgesetzte Satzung (vgl. Astrid, 2005).

Die Gesellschaft ASTRID (*All-round Semi-cellular Trunking Radio communication system with Integrated Dispatchings*) ist eine öffentlich-rechtliche Aktiengesellschaft, die kraft des Gesetzes vom 08. Juni 1998 (Belgisches Staatsblatt vom 13. Juni 1998) über die Funkkommunikationen der Rettungs- und Sicherheitsdienste gegründet wurde. Die Satzung der Gesellschaft ist in dem, im Ministerrat beschlossenen Königlichen Erlass vom 27. Juni 1998 (Belgisches Staatsblatt vom 31. Juni 1998) verankert. Das Gesellschaftskapital beläuft sich auf 143.779.000 EUR. Es wurde zu 61% vom Föderalstaat und zu 39% von der *Kommunalen Holding* gezeichnet. Die ASTRID AG bezieht ihre finanziellen Mittel aus Subventionen im Rahmen des föderalen Staatshaushalts. Das ASTRID-Gesetz, welches auf der Homepage in französischer und niederländischer Sprache verfügbar ist, legt folgende Aspekte fest (vgl. Astrid, 2005):

- Die Gründung der ASTRID AG durch die föderale Investmentgesellschaft.
- Die Festsetzung des Gesellschaftszwecks, die Zusammensetzung des Verwaltungsrats und die Festlegung des Kapitals und der Finanzierung der ASTRID AG.
- Die Zuteilung des Frequenzbandes 380-385/390-395 MHz.
- Die Aufsicht über die ASTRID AG durch den Innenminister und den Haushaltsminister.
- Die Überwachung der finanziellen Entwicklung, der Jahresrechnungen und der Rechtmäßigkeit durch ein Kollegium an Kommissaren.

Der Betreibervertrag wurde zwischen dem Föderalstaat (vertreten durch den Innenminister) und der ASTRID AG geschlossen und legt die Vertragspflichten der Parteien und den allgemeinen Rahmen fest, in dem ASTRID ihren Gesellschaftszweck erfüllen muss. Der Betreibervertrag ist in dem im Ministerrat beschlossenen Königlichen Erlass vom 08. Februar 1999 (Belgisches Staatsblatt vom 27. Februar 1999) verankert. Der Vertrag, ebenfalls in französischer und niederländischer Sprache auf der Homepage verfügbar, enthält unter anderen folgende Bestimmungen (vgl. Astrid, 2005):

- Die Gesellschaftsform der ASTRID AG: Eine, kraft Artikel zwei des ASTRID-Gesetzes, von der föderalen Investmentgesellschaft gegründete, öffentlich-rechtliche Gesellschaft.

- Die Spezifikation der ASTRID-Systeme: Das in Artikel drei des Gesetzes festgelegte Funkkommunikationsnetz, die gesamte Infrastruktur, bestehend aus dem Funknetz und den provinziellen Meldezentralen.

Weiters regelt der Betreibervertrag in den Artikeln sieben und acht durch eine vollständige Liste, welche Dienste und Unternehmen auf das ASTRID-Netz zugreifen dürfen. Praktisch alle belgischen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben sind mit einer Befugnis ausgestattet. Die Interessen aller Benutzer werden durch einen Beratungsausschuss, der sich aus Mitgliedern der Rettungs- und Sicherheitsdienste zusammensetzt, vertreten. Im Bereich der inneren Staatssicherheit richtet sich das ASTRID-Netz auch an Privatunternehmen, die Rettungsdienste anbieten oder die im Rahmen ihrer amtlichen Aufträge mit Fragen der öffentlichen Sicherheit betraut sind. Auch private Rettungstransportunternehmen, Kliniken, öffentliche Verkehrsgesellschaften, Wasser- und Energieversorgungsgesellschaften, Geldtransportunternehmen und Überwachungsdienste können die Vorteile des ASTRID-Netzes, unter den vom Ministerium festgelegten Bedingungen, nutzen (vgl. Astrid, 2005).

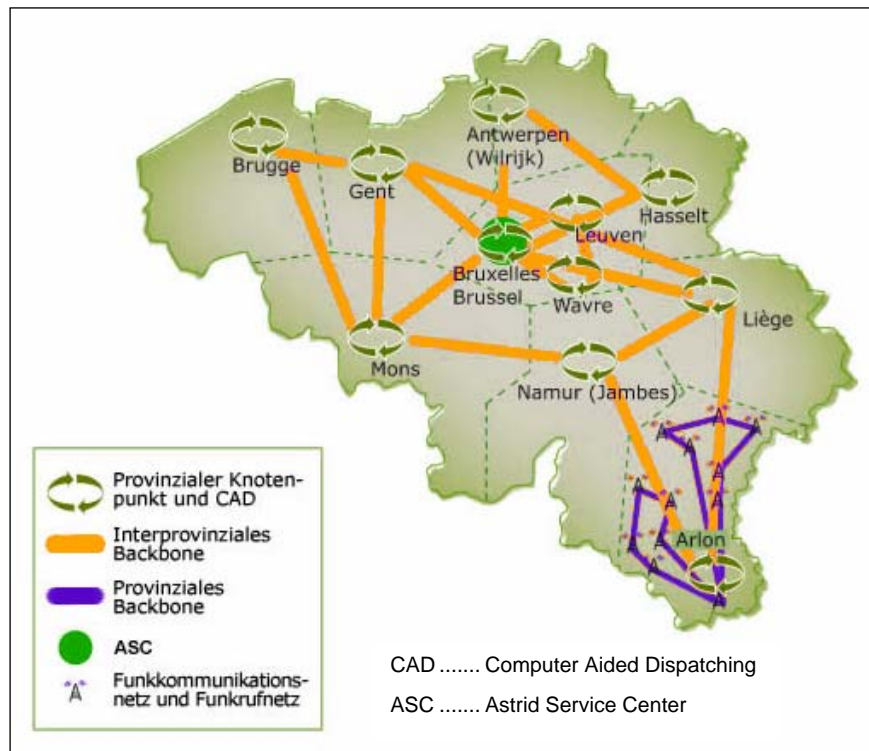
Für jedes Funkgerät oder Terminal, das im ASTRID-Netz benutzt werden soll, muss ein Jahresabonnement abgeschlossen werden. Wie der Geschäftsführungsvertrag festlegt, bietet ASTRID den öffentlichen Diensten sämtliche Leistungen zum Selbstkostenpreis an. Das Jahresabonnement schließt eine unbegrenzte Anzahl Gruppenkommunikationen und alle mit der Netznutzung verbundenen Dienstleistungen ein. Je nach spezifischem Bedarf kann zwischen verschiedenen Abonnementarten und Leistungspaketen gewählt werden. Um vorhersehbare Kostenplanung zu ermöglichen, wird der Preis des Abonnements zweimal im Jahr an einen Index angeglichen (vgl. Astrid, 2005).

4.2.3 Das Funknetz

Die Architektur des ASTRID-Netzes umfasst fünf Hauptbestandteile (siehe Abbildung 14, vgl. Astrid, 2005):

- i. Das Funknetz und das Funkrufnetz, bestehend aus den Basisstationen.
- ii. Die provinziellen Backbones, die die Basisstationen mit dem provinziellen Knotenpunkt verbinden.
- iii. Der provinzielle Knotenpunkt und die provinzielle Meldezentrale.
- iv. Das interprovinzielle Backbone, das die provinziellen Knotenpunkte und Meldezentralen verbindet.
- v. Das ASTRID Service Center (ASC).

Abbildung 14: Das ASTRID-Netz



Quelle: Astrid, 2005

4.2.3.1 Funknetz und Funkrufnetz

Das Funknetz basiert auf dem TETRA-Standard und zählt etwa 500 Basisstationen, also an einen provinziellen Knotenpunkt angeschlossene Antennen, und ist nach Provinzen strukturiert. Die Basisstationen sind über das gesamte belgische Staatsgebiet verteilt. Aus Sicherheitsgründen legt die Betreibergesellschaft großen Wert auf die Wahl geeigneter Standorte und bevorzugt dabei auf der Hand liegende geschützte Stellen wie beispielsweise Polizeidienststellen oder Feuerwehrcasernen. Geht ein Anruf von einem Funkgerät an die nächstliegende Basisstation ein, wird dieser Anruf über das provinzielle Backbone bis zum provinziellen Knotenpunkt weitergeleitet. Der provinzielle Knotenpunkt ist die intelligente Instanz, die den Anruf bearbeitet. Je nachdem, ob es sich um einen Einzel- oder Gruppenruf handelt, sucht das System den oder die angerufenen Kommunikationspartner, wo immer sie sich auch aufhalten. Der Anruf wird dann an die betreffenden Gesprächspartner gesendet. Dies alles erfolgt in weniger als einer halben Sekunde (vgl. Astrid, 2005).

Das vorliegende TETRA-Netz wurde eigens für die Rettungs- und Sicherheitsdienste entwickelt. Auf diese Weise war es möglich, die Anzahl potentieller Benutzer mit hoher Genauigkeit zu bestimmen und die Netzleistung

entsprechend auszulegen, damit das Netz für jeden einzelnen Benutzer maximal verfügbar ist. Jede Basisstation kann mit bis zu acht Trägerfrequenzen ausgestattet werden, wobei jede Trägerfrequenz vier Kanäle darstellt. Anhand statischer Berechnungen und der genauen Kenntnis des Benutzerbedarfs konnte diese Leistung gleich bei Inbetriebnahme an den richtigen Standorten installiert werden. Eine Basisstation besteht aus einem Schutzraum und einem Antennenmast. Bei dem Schutzraum handelt es sich um eine technische Kabine, die jeweils am Fuß eines Antennenmasts angebaut und mit der nötigen Übertragungsausrüstung ausgestattet ist. Die Verbindung der Basisstationen einer Provinz mit dem provinziellen Knotenpunkt läuft über Richtfunk (vgl. Astrid, 2005).

Wie bei den Rettungsorganisationen in Österreich (siehe Subkapitel 5.3.5 Die Integration von Rettungsorganisationen am Beispiel LEBIG), wird auch in Belgien ein eigenes auf der POCSAG-Norm⁶ beruhendes Funkrufsystem zur Alarmierung verwendet. Dieses Netz setzt sich aus 220 Basisstationen zusammen. Das Netz teilt die Sendemasten mit dem Funknetz (*Site-sharing*). Das Funkrufnetz ist derzeit auf 25.000 Benutzer ausgelegt, und die Kapazität kann bis auf 800.000 Benutzer erweitert werden (vgl. Astrid, 2005).

4.2.3.2 Die provinziellen Backbones

Das provinzielle Backbone-Netz verbindet die Basisstationen mit dem jeweiligen provinziellen Knotenpunkt. Das Netz besteht aus Richtfunkverbindungen und in Ausnahmefällen aus zusätzlichen Mietleitungen. Das Backbone-Netz gestaltet sich aus Schleifen, die von dem provinziellen Knotenpunkt ausgehen und wieder zu ihm zurückführen. Diese Schleifen bieten einen doppelten Zugriff auf jede Basisstation und damit eine Redundanz für den Fall einer Unterbrechung der Verbindung (vgl. Astrid, 2005).

4.2.3.3 Der provinzielle Knotenpunkt und die Meldezentrale

Jeder Provinzhauptort beherbergt einen provinziellen Knotenpunkt (*Digital Exchange for TETRA*). Die provinziellen Knotenpunkte sind das "Gehirn" des Netzes und beinhalten die gesamte benötigte Ausrüstung zur Leitung der Funkkommunikationen. Weiters ist in jedem Provinzhauptort eine provinzielle Meldezentrale eingerichtet. Alle Auf- und Anrufe laufen durch diese Knotenpunkte, die jederzeit über die Position aller eingeschalteten Endgeräte innerhalb des Deckungsbereichs informiert sind. Darüber hinaus sind die Knotenpunkte mit

⁶ „POCSAG ist eine Abkürzung für Post Office Code Standard Advisory Group. Diese Gruppe hat das am weitesten verbreitete Protokoll für Funkrufdienste entwickelt. Ein Funkrufempfänger (Pager) ist ein kleines Gerät mit einem Empfänger und einem Decoder für POCSAG-Signale. Eine andere Möglichkeit POCSAG-Nachrichten anzuzeigen ist einen Empfänger (z.B. Funkscanner) an einen Computer anzuschließen und die Dekodierung mittels Software ausführen zu lassen. Jeder Funkrufdienst hat seine eigene Frequenz und jeder Pager hat seine eigene Adresse.“ (Wikipedia, 2006d)

externen Netzen verbunden, wie zum Beispiel dem öffentlichen Mobilfunk- und Festnetz. Das belgische TETRA-Netz hat insgesamt elf Meldezentralen, je Provinz eine und eine weitere in der Region Brüssel-Hauptstadt. Eine Meldezentrale ist mit Terminals für die Funkdienstleiter ausgestattet. Die Terminals stehen einerseits mit dem Funknetz und andererseits mit dem lokalen EDV-Netz in Verbindung, das Datenbanken mit allen dienstlich relevanten Informationen umschließt. Die Terminals sind zudem mit der Telefonzentrale verbunden, um Notrufe entgegennehmen zu können (vgl. Astrid, 2005).

4.2.3.4 Das interprovinziale Backbone

Die einzelnen provinziellen Netze müssen im Sinne eines landesweiten Netzes untereinander verknüpft werden. Diese Verknüpfung gewährleistet das interprovinziale Backbone. Es handelt sich um ein Festnetz, das alle provinziellen Knotenpunkte über ein paketerorientiertes und auf Mietleitungen gestütztes Privatnetz verbindet. Was die Kapazität und die Zugriffssicherheit betrifft, so ist dieses Netz ausschließlich ASTRID vorbehalten. Das interprovinziale Backbone besteht aus Verbindungen hoher Kapazität über weite Distanz. Es ermöglicht nicht nur den Datenaustausch zwischen den provinziellen Meldezentralen bzw. Knotenpunkten, sondern erweitert auch die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen den Benutzern, egal, wo sie sich in Belgien aufhalten. Sprach- und Datenübertragung sind integriert, um die Nutzbarkeit der Netzkapazität zu optimieren (vgl. Astrid, 2005).

4.2.3.5 Das ASTRID Service Center

Das ASC beherbergt alle zentralen Anlagen, über die der Netzzugriff erfolgt. Es wacht darüber, dass die Benutzer jederzeit und überall maximale Verfügbarkeit und Leistung haben. Es überwacht das Netz rund um die Uhr in Echtzeit und ist verantwortlich für die einwandfreie Funktionstauglichkeit der ASTRID-Systeme. Im Problemfall schreitet das ASC sofort ein. Zu seinen Aufgaben zählt unter anderem die Erkennung eventueller technischer Probleme. Sobald das Netz eine Regelwidrigkeit feststellt, sendet es automatisch eine Alarmmeldung an das ASC, damit das Wachpersonal unverzüglich einschreiten kann. Das ASC gewährleistet außerdem die Sicherheit der ASTRID-Systeme und der Meldezentralen vor internen und externen Angriffen. So wacht das ASC beispielsweise über den virenfreien Kommunikationsverkehr. Des Weiteren führt das ASC festgelegte Kapazitäts- und Leistungsmessungen durch (vgl. Astrid, 2005).

4.3 Die Niederlanden: C2000

Im Zuge des Dreiländerprojekts (siehe Subkapitel 4.1.2 Das Dreiländerprojekt) wurde das Funknetz *C2000* in den Niederlanden als landesweites, einheitliches

Digitalfunknetz für die Kommunikation von Polizei, Feuerwehr, den Rettungsdiensten, Grenzschutz und Militärpolizei errichtet. Als Hardware-Lieferant bekam Motorola den Zuschlag für das auf dem TETRA-Standard basierende System. Hauptauftragnehmer und Systemintegrator ist die Projektgesellschaft *Tetraned*, ein Joint-Venture zwischen den zwei Funknetzbetreibern *KPN* und *Geotronics*. Für die Implementierung und den Betrieb ist die ITO (*Informatie en Communicatie Technologie Organisatie*), eine Regierungsbehörde im Innenministerium, verantwortlich. Mitte September 2004 wurde das digitale Funknetz C2000 offiziell an den Innenminister übergeben. Beim niederländischen Netzwerk handelt es sich um die weltweit erste verschlüsselte landesweite TETRA-Installation. Fast hundert analoge, getrennte Funknetze mit insgesamt rund 1.600 Funkstandorten wurden durch ein einziges TETRA-Netz mit nur noch rund 400 Funkstandorten, zwölf Netzwerk-Zentren und 30 Einsatzzentralen ersetzt. Das vorliegende System besteht aus 17 Teilsystemen, die alle zu einem einzigen zusammengeschaltet sind. Die Funkabdeckung des gesamten Systems erstreckt sich auf 41.526 Quadratkilometer. Die Netzkapazität liegt bei mehr als 60.000 Nutzern (vgl. Motorola, 2005a).

Nach Angaben von Tetraned kostete die Errichtung des TETRA-Netzes 603 Millionen Euro und blieb im Budget von November 2001 (Der Zeitplan wurde allerdings um ein halbes Jahr überschritten). In den genannten Kosten sind die Kosten für die Endgeräte noch nicht enthalten, die von den lokal organisierten Feuerwehren und Rettungsdiensten selbst angeschafft werden müssen. Für diesen Posten wurden noch einmal rund 100 Millionen Euro veranschlagt. Derzeit wird darüber nachgedacht, welche anderen Gruppen das TETRA-Netz nutzen dürfen. Anders als beispielsweise das technische Hilfswerk (THW) in Deutschland ist der niederländische Katastrophenschutz nicht am neuen Daten- und Sprachnetz beteiligt. Gerade Katastrophen wie der Brand einer Feuerwerksfabrik in Enschede im Jahr 2000 haben gezeigt, dass die Einbindung derartiger Nutzergruppen durchaus sinnvoll ist. Entschieden abgewiesen wurde die Forderung der niederländischen Journalistenverbände, der Presse einen Zugang zum Behördenfunknetz zu ermöglichen. Dazu stellte der niederländische Innenminister Remkes fest, dass C2000 absolut abhörsicher bleiben muss und die Überprüfung der Vertrauenswürdigkeit von Journalisten nicht möglich sei (vgl. Heise online, 2004).

4.4 Die Situation in Deutschland

Vergleichbar mit der Lage in Österreich wird auch in Deutschland schon sehr lange über die Einführung eines Behördenfunksystems unter Verwendung der Digitaltechnologie diskutiert. Einen einführenden, kompakten Überblick über die Geschehnisse in der Deutschen Bundesrepublik bis zur europaweiten

Ausschreibung der Realisierung eines TETRA-Netzes soll die folgende Tabelle 6 bieten:

Tabelle 6: Zeittafel der Entwicklung in Deutschland

Zeitraum	Ereignis
80er Jahre	Erste Überlegungen zur Einführung des Digitalfunks.
1995	Festschreibung des Einsatzes kompatibler Technik durch das Schengener Abkommen.
1998	TETRA Pilotversuch Berlin-Brandenburg, Überprüfung der grundsätzlichen Eignung der Technologie (Motorola Installation).
2001	TETRA Dreiländerprojekt Aachen, Überprüfung der Praxistauglichkeit (bis heute in Benutzung).
2002	TETRA Wirknetz für Nukleartransporte in Gorleben (Rohde & Schwarz Installation).
2002 bis 2005	Einsetzung von Arbeitsgruppen in den Ländern und beim Bund, Vorbereitung der Ausschreibung.
2003	Entscheid der Innenministerkonferenz zur „unverzöglichen“ Umsetzung.
Febr. 2005	Vorläufiges Ende des Finanzierungsstreits.
März 2005	Teilnahmewettbewerb zur Ausschreibung, <i>DB Telematik</i> ⁷ soll Netzbetreiber werden.
Aug. 2005	Ausschreibung des BOS Digitalfunk mit Festlegung auf TETRA.

Quelle: Rohde & Schwarz, 2006, S.15 (adaptiert)

Die in dieser Aufstellung genannten regional beschränkten Einsätze des TETRA-Standards sollen in den folgenden Subkapiteln näher beschrieben werden.

⁷ Zusammengesetzt aus dem Bundesamt für Digitalfunk und einem Lieferantenkonsortium.

4.4.1 Pilotversuch Berlin-Brandenburg

Ausgangspunkt war die Gründung der Projektgruppe Digitalfunk in Umsetzung des Auftrages der Innenministerkonferenz. Die Aufgabe der Projektgruppe bestand darin, das künftige digitale Funksystem vor einer endgültigen Systementscheidung in der Praxis zu prüfen. Kriterien dabei waren die Anforderungen im Bereich Sicherheit und Taktik sowie die Anwenderakzeptanz. Da die Finanzierung eines geplanten Pilotversuches durch die EU abgelehnt wurde, und auch die Länder keine Bereitschaft zur Finanzierung signalisierten, musste das ursprüngliche Konzept in zwei Pilotversuche aufgeteilt werden. Im ersten Schritt sollte in Berlin-Brandenburg die grundsätzliche Eignung des TETRA-Standards geprüft werden. Die daraus erhofften Erkenntnisse sollten in eine exakte Planung der weiteren Erprobung in Aachen resultieren. Bei den stattgefundenen Vorgesprächen kristallisierten sich drei Konsortien heraus, die bereit waren, den geplanten Test zu unterstützen und Testgestelle zur Verfügung zu stellen (vgl. TeleCommunication, 1999):

- i. Konsortium T-Mobil, Motorola, Nokia (TMN).
- ii. Konsortium TETRACOM bestehend aus Rohde & Schwarz, Back Mobilfunk und DeTeWe Funkwerk Köpenick, OTE und Terrafon.
- iii. Konsortium Simoco und Frequentis.

Der erste Pilotversuch wurde schließlich 1998 unter der Leitung der Projektgruppe Digitalfunk durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass sämtliche physikalische Bedenken hinsichtlich der Eignung für den Einsatz in BOS ausgeräumt werden konnten. Die Sprachverständlichkeit und Störfestigkeit war laut Abschlussbericht deutlich höher als bei den bisherigen Funksystemen. Die Reichweite war vergleichbar mit herkömmlichen Funkgeräten. Weiters wurde der Nachweis für die Interoperabilität zwischen verschiedenen TETRA-Netzen (im vorliegenden Fall zwischen Nokia und Motorola) erfolgreich erbracht. Die Akzeptanz durch die Nutzer im Dienst und das Systemverhalten unter Last sowie Erfahrungen mit großflächigen Versorgungsgebieten sollten in einem weiteren Pilotversuch in Aachen geprüft bzw. gemacht werden (vgl. TeleCommunication, 1999).

4.4.2 Pilotprojekt Aachen

Wie nach dem Pilotversuch in Berlin-Brandenburg besprochen, sollte das System nun im praktischen Einsatz, in größerem Umfang und in der länderübergreifenden Kommunikation im Sinne des Dreiländerprojekts erprobt werden. Der folgende operative Testbetrieb dauerte zwei Jahre, und es konnten umfassende Erkenntnisse über die Art und Erfüllung der taktisch-betrieblichen

Anforderungen aller teilnehmenden BOS (polizeiliche und auch nichtpolizeiliche) gewonnen werden (vgl. Projektgruppe Digitalfunk, 2003).

Eingesetzt wurden 390 Fahrzeugfunkgeräte, 1.060 Handsprechfunkgeräte und 25 fest installierte Funkgeräte in den Wachen und Leitstellen. Von den Fahrzeugfunkgeräten wurden wiederum 260 fest eingebaut und 130 als mobile Koffervarianten benutzt. Zunächst wurden von Motorola für dieses Pilotprojekt Funkgeräte des Typs MTP 300 geliefert die ab November 2000 durch deutlich kleinere und leichtere Geräte der zweiten Generation (Typ MTP 700) ausgetauscht wurden. Weiters wurde ein noch kleineres Gerät im typischen Handy-Format (Typ MTH 500) eingesetzt. Dieses eignet sich besonders für verdeckte Ermittlungen und getarnte Einsätze, da auch entsprechende Hörsprechgarnituren als Head-Sets zur Verfügung stehen. Zur Beurteilung der Interoperabilität verschiedener Hersteller wurden auch Funkgeräte von Marconi/DeTeWe, Thales, Cleartone und Nokia getestet. Nach anfänglichen Schwierigkeiten zwischen Motorola und Nokia-Endgeräten im DMO-Betrieb, wurde die Software der Geräte von Nokia optimiert. Danach konnten keine Probleme mehr festgestellt werden (vgl. Projektgruppe Digitalfunk, 2003).

Das Netzwerk des Pilotprojekts bestand aus zwölf Basisstationen und zwei Hauptvermittlungseinrichtungen. Die teilnehmenden Organisationen waren Polizei Aachen, Feuerwehr Stadt Aachen, Amt für Rettungswesen und Katastrophenschutz Aachen, Bundesgrenzschutz und Zoll. Erste Tests zur grenzüberschreitenden Kommunikation mit Belgien und den Niederlanden konnten bereits im Oktober und November 2002 durchgeführt werden. Es wurde dabei eine gegenseitige Kommunikation, sowohl mit den Nachbarländern, als auch aus dem benachbarten Ausland mit den inländischen Leitstellen und den eigenen Einsatzkräften erreicht. Ab Mai 2003 erfolgten Praxistests und gemeinsame Übungsszenarien. Es wurde nur die Sprechverbindung der drei Länder getestet. Datenübertragung und Einzelgespräche zwischen zwei Endgeräten und Telephonie wurden dabei nicht durchgeführt. Die Netze der drei Länder wiesen noch keine Überlappung auf und wurden untereinander durch statische Modemleitungen verbunden. Da die Endgeräte gleichzeitig in allen drei nationalen Systemen als autorisierte Nutzer programmiert waren, sollte die Möglichkeit bestehen, sich beispielsweise als deutsches Endgerät in eine niederländische Basisstation einzubuchen und über die Modemverbindung mit der deutschen Leitstelle, aber auch mit belgischen oder niederländischen Geräten zu kommunizieren. Diesbezügliche Tests verliefen erfolgreich (vgl. Projektgruppe Digitalfunk, 2003).

4.4.3 TETRA in Gorleben

Für den störungsfreien Funkverkehr während der Castor-Transporte nach Gorleben hat sich das zuständige Innenministerium für den Einsatz eines TETRA-Funksystems entschieden. Getragen wurde diese Entscheidung durch die

auftretenden Probleme des bestehenden analogen Funksystems. So konnte das digitale Funknetz auch bisher schwer erreichbare Orte in die Gesamtkommunikation integrieren. Um den Konflikt zwischen den Betreibern des Gorlebener Zwischenlagers, der *Brennelementelager-Gesellschaft*, und Demonstranten bestmöglich ausgleichen bzw. eine Eskalation verhindern zu können, ist auch ein gewisser Informationsvorsprung der Polizei nötig. Dieser Informationsvorsprung war aber durch die bestehende analoge Technik nicht mehr ausreichend gegeben. So kam es vor, dass Journalisten durch das Abhören des Polizeifunks früher am Einsatzort waren als die Polizisten selbst. Auch technische Störungen, wie beispielsweise durch den Taxifunk bei Hochwetterlage oder durch gewaltige Datenverarbeitungsanlagen von Banken oder Versicherungen, sollen nun der Vergangenheit angehören. Seit November 2001 ist ein TETRA-System von Rohde & Schwarz im Einsatz (vgl. NET, 2003).

4.4.4 Aktuelle Entwicklung der Ausschreibung

Nach jahrelangen Auffassungsunterschieden zwischen Bund und Ländern bezüglich der Finanzierung soll nun das veraltete und störanfällige analoge Funksystem der Behörden mit Sicherheitsaufgaben *BOS-Funk* tatsächlich abgelöst werden. Bei der Errichtung des neuen Netzes ist zu unterscheiden zwischen Betrieb und Systemtechnik. Als Betreiber steht mittlerweile die Bahntochter *DB Telematik* fest. Die Bereitstellung der Systemtechnik wurde ausgeschrieben. Insgesamt wird die Umstellung mehrere Milliarden Euro kosten. Das System soll bis spätestens Ende 2010 verfügbar sein. Als Auftraggeberorganisation soll die *Bundesanstalt für Digitalfunk* auch nach der Regierungsumbildung 2005 den Aufbau und Betrieb des Funksystems koordinieren und die organisatorischen Voraussetzungen schaffen, um sämtliche Interessen aller geplanten BOS-Nutzer zu bündeln (vgl. Heise online, 2006).

Das Konsortium um den europäischen Luft- und Raumfahrtkonzern EADS ist der einzige verbliebene Bewerber um die Auftragsvergabe für die Bereitstellung der Infrastruktur. Laut deutschem Bundesinnenministerium habe EADS nach Auswertung der schriftlichen Unterlagen das wirtschaftlichste und fachlich beste Angebot abgegeben. Nun sollen Gespräche mit EADS folgen. Sofern diese erfolgreich verlaufen, wird man daran gehen, erste Systemtests durchzuführen. Die endgültige Vergabeentscheidung wird für Mitte des Jahres 2006 erwartet. Durch die vorläufige Entscheidung zugunsten EADS ist unter anderem das konkurrierende Konsortium um Motorola, T-Systems und Rohde & Schwarz aus dem Rennen. Motorola galt neben EADS als aussichtsreicher Kandidat, da derzeit rund 700 Mitarbeiter an den Standorten Berlin und Taunusstein im Bereich *professioneller Funk* beschäftigt sind. An diesen Standorten werden TETRA-Digitalfunksysteme für Behörden und Geschäftskunden aus aller Welt erzeugt. Trotz der gescheiterten Bewerbung wird an dem Standort laut Aussagen von

Motorola festgehalten. Als Grund für das überraschende Ausscheiden wird von Motorola die komplexe Methodik der Ausschreibung gesehen. Man sei zu einem Zeitpunkt ausgeschieden, bei dem weder die Machbarkeit geprüft noch der tatsächliche Preis festgelegt wurde (vgl. Heise online, 2006).

Interessant ist auch, dass EADS erst durch den Kauf der Nokia-Tochter *PMR* (Professional Mobile Radio) 2005 in die Lage kam, die Systemtechnik für ein TETRA-Netz bereitzustellen. Bisher setzte EADS ausschließlich auf das eigene System Tetrapol. PMR liefert und entwickelt allerdings Funkinfrastruktur und Endgeräte nach dem TETRA-Standard (vgl. Heise mobil, 2005).

4.5 Großbritannien: O2 Airwave

Ausgangsbasis in Großbritannien war die eingeschränkte Möglichkeit einzelner Organisationen und Dienststellen, untereinander zu kommunizieren. So hatte beispielsweise jede der 51 Polizeieinheiten in England, Schottland und Wales ein eigenes Kommunikationssystem. Diese Kommunikationsdefizite sollten die Beteiligten des *Public Safety Radio Communications Project* (PSRCP) beseitigen. Diese beschlossen, die einzelnen analogen Systeme durch ein landesweites, digitales Funknetz, basierend auf dem offenen europäischen TETRA-Standard, zu errichten. Folgende Schlüsselfunktionalitäten wurden gefordert (vgl. Airwave O2 Limited, o.J.):

- Schneller Verbindungsaufbau.
- Luftschnittstellenverschlüsselung.
- Systemredundanz, um die Servicebereitschaft des Netzes jederzeit zu gewährleisten.
- Technische Ausrüstung der Leitstellen und nahtlose Integration der bestehenden Leitstellen.
- Effiziente Datenverarbeitung und Weitergabe.

Seit 1999 ist die PITO (*Police Information and Telecommunication Organisation*) in Großbritannien für die Projektdurchführung zuständig und bildet die Schnittstelle zum später gegründeten kommerziellen Netzbetreiber *Airwave O2 Limited*. Zuvor wurde im Jahr 2000 die *British Telecom* (BT) mit der Errichtung und dem Betrieb des gewünschten TETRA-Funknetzes beauftragt. Den Subauftrag, die landesweite Infrastruktur zu schaffen, bekam Motorola mit einem kolportierten Volumen von 2,9 Milliarden Pfund (4,2 Milliarden Euro). Anfang des Jahres 2005 wurde das Kommunikationsnetzwerk, bestehend aus mehr als 3.200 Basisstationen, acht Netzknoten, 488 Leitstellen und über 200 Arbeitsplätzen, an

den Auftraggeber übergeben. Das Netzwerk ist für 200.000 Nutzer ausgelegt (vgl. Motorola, 2005b).

Das TETRA-Netz *O2 Airwave* ist ausschließlich für die Benutzung britischer BOS gedacht und Teil der *HMG Critical National Infrastructure*, die auch während etwaiger Katastrophenfälle, wie beispielsweise die Anschläge von 9/11, funktionsfähig bleiben soll. Im März 2005 waren 150.000 Nutzer registriert, wobei die *UK Police* den Hauptanteil stellt. Das Netz steht aber auch allen anderen Organisationen offen, die sich auf einer speziellen Liste geprüfter öffentlicher Sicherheitsbehörden (*DTI list of approved public safety agencies*) befinden. Bemerkenswert ist, dass die Betreibergesellschaft *Airwave O2 Limited* für diese berechtigten Benutzerorganisationen verschiedene Produkte bzw. Leistungspakete anbietet. Es wird somit eine ähnliche Marketingstrategie wie bei öffentlichen GSM-Netzen verfolgt (vgl. *Airwave O2 Limited*, o.J.):

- *Airwave Direct Voice*: Nationale Sprachübertragung inklusive Text-Nachrichten (vergleichbar mit herkömmlicher GSM-Mobiltelefonie).
- *Airwave Direct Plus*: Nationale Sprach- und Datenübertragung mit GPS-Funktionalität (als Alternative zur GPRS-Mobiltelefonie).
- *Airwave Direct Complete Local*: Lokale Sprach- und Datenübertragung mit GPS-Funktionalität und nahtlosem Zugriff zu Informationsservern (als Alternative zu lokalen PMR-Netzwerken).
- *Airwave Direct Complete*: Nationale Sprach- und Datenübertragung mit GPS-Funktionalität und nahtlosem Zugriff zu Informationsservern (als Komplettlösung).

Der mobile Zugriff auf Informationen auf den Informationsservern wird je nach individueller Anforderung der Nutzerorganisation zur Verfügung gestellt. So wurden beispielsweise für die Polizei folgende Funktionen realisiert (vgl. *Airwave O2 Limited*, o.J.):

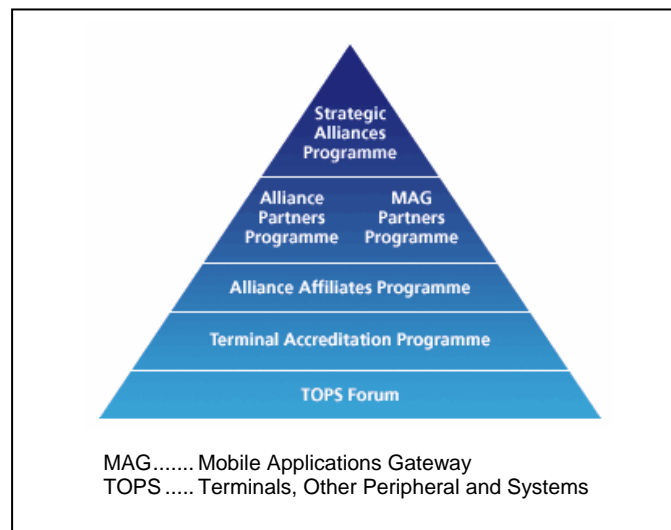
- *Elektronische Formulare*: So erspart sich der einzelne Polizist die Dienststelle aufzusuchen, um bestimmte Berichte (zum Beispiel Vermisstenanzeigen oder Diebstahlsanzeigen) abzufassen. Dies kann auf dem PDA-ähnlichen Endgerät durch Ausfüllen eines Standardformulars während des mobilen Einsatzes erledigt werden.
- *Datenbankzugriff*: Der Beamte hat direkten Zugriff auf sämtliche benötigte Informationsquellen, wie beispielsweise Wählerverzeichnis oder Vorstrafenregister.
- *Aufgabenverteilung*: Routine-Instruktionen wie morgendliche Dienstbesprechungen können direkt elektronisch abgewickelt werden. Relevante einsatzbezogene Informationen gelangen sofort auf das Display

des jeweiligen Beamten. Statusmeldungen der Beamten können ohne Zeitverzögerungen an die Dienststelle zurückgesandt werden.

- *Lokalisierung*: Fahrzeuge können einfach lokalisiert und ihre Bewegungen festgehalten werden. Die gewonnenen Daten werden direkt zur Dienststelle übermittelt.

Ein weiterer interessanter Unterscheidungspunkt zwischen dem Behördenfunknetz in Großbritannien und anderen europäischen Ländern ist die angestrebte und ausdrücklich erwünschte Kommerzialisierung des Systems. Während in den meisten anderen Fällen bundesweiter Behördenfunknetze der Betrieb und die Weiterentwicklung des Systems an einer zentralen Stelle mit relativ strenger staatlicher Aufsicht liegt, bietet die Airwave O2 Limited ein sehr weit reichendes *Alliance Programme* an. Dieses Programm hat zum Ziel, entsprechend den Kundenanforderungen qualitativ hochwertige Lösungen für die Nutzer von O2 Airwave zu entwickeln. Es bietet Partnerunternehmen je nach Partnerschaftslevel Informationen, Prozessunterstützung und Tools für die Arbeit mit O2 Airwave, um Produkte oder Services für den Endanwender zu designen, zu entwickeln und zu vertreiben. Das Programm ist in sechs Sub-Programme unterteilt (siehe Abbildung 15, vgl. Airwave O2 Limited, o.J.):

Abbildung 15: O2 Airwave Alliance Programme



Quelle: Airwave O2 Limited, o.J.

- *Strategic Alliances Programme*: Die stärkste und auf längste Sicht abgeschlossene Geschäftsbeziehung mit O2 Airwave, die auf die

Bereitstellung strategisch wichtiger Lösungen über das Netzwerk abzielt. Diese Art der Mitgliedschaft ist auf ausgewählte Partner beschränkt.

- *Alliance Partners Programme:* Mitglieder dieser Partnerschaft erhalten Unterstützung bezüglich Entwicklung und Vertrieb eigener Lösungen an Kunden von O2 Airwave. O2 Airwave fungiert somit als Distributionskanal mit vertraglicher Beziehung zum Endkunden.
- *Mobile Applications Gateway (MAG) Partners Programme:* Die Mitglieder dieses Programms werden aufgefordert, Applikationen für das MAG zu entwickeln. O2 Airwave ist auch in diesem Fall der Distributionskanal zum Endkunden.
- *Alliance Affiliates Programme:* Mitglieder können unter adäquaten Umsatzbeteiligungen gemeinsame Lösungen für das Netzwerk liefern.
- *Terminal Accreditation Programme:* Durch dieses Programm werden die Kunden über Tests und Ergebnisse der Gerätehersteller informiert. Die Informationen werden direkt auf der Homepage bereitgestellt. Es existiert kein Vertragsverhältnis zwischen O2 Airwave und dem Gerätehersteller.
- *Terminals, Other Peripheral and Systems (TOPS) Forum:* Mitglieder erhalten Informationen von O2 Airwave, PITO und Motorola, die sie bei der Entwicklung von Terminals, Produkten und Dienstleistungen für das O2 Airwave Netzwerk unterstützen sollen. Es besteht keine vertragliche Beziehung zwischen O2 Airwave und den TOPS Forum Mitgliedern.

Neben dem beschriebenen Alliance Programme wurde das Projekt *source O2* ins Leben gerufen. Dabei handelt es sich um eine Plattform für Drittanbieter in den Bereichen Entwicklung und Programmierung. Das System beruht auf vollständig offener Kommunikation zwischen O2 und den einzelnen Entwicklern. Das gesammelte Know-how wird beispielsweise in Form von APIs (*Application Programming Interface*), Fallstudien oder Newsgroups auf dem Internet-Portal zur Verfügung gestellt. Gemachte Erfahrungen können aber auch von Angesicht zu Angesicht auf den veranstalteten Konferenzen ausgetauscht werden. Weiters können entwickelte Applikationen über das Portal zur Evaluierung an die Entwicklergemeinde abgegeben werden (vgl. Source O2, o.J.).

5 Das TETRA-Netz in Österreich

5.1 Historische Entwicklung

Polizei, Grenzschutz, Katastrophenschutz, Feuerwehr, Zollwache und Hilfsorganisationen wie zum Beispiel Rotes Kreuz, Malteser-Hilfsdienst und Samariter-Bund sind Organisationen im Dienste der allgemeinen Sicherheit. Sie nutzen in Österreich bereits seit Jahrzehnten die Möglichkeiten der Funktechnik zur Erfüllung ihrer Aufgaben. Schrittmacher der Entwicklung der Funktechnik war seit jeher die Polizei. Die Einsatzpalette reicht von der Bekämpfung des Unfalltodes auf der Straße über die Abwehr von Katastrophenschäden bis zum Kampf gegen das Kapitalverbrechen. Die Polizei benutzte zuerst die Kurzwelle für weite Verbindungen und baute schon frühzeitig unter Nutzung der UKW-Sprechfunktechnik städtische Polizeifunknetze für Sprechverbindungen mit den Streifenwagen auf. Da die Technik sich laufend weiter entwickelt, ist eine ständige Beobachtung empfehlenswert, um einerseits nicht den Anschluss zu verpassen und andererseits aber auch nicht zu viel des Guten zu tun und beispielsweise wichtige finanzielle Ressourcen zu verschwenden. Eine Polizei allerdings, die es verabsäumt, ihre Taktik und Technik den veränderten technischen Verhältnissen anzupassen, kann nicht ausreichend erfolgreich arbeiten (vgl. AEG-Telefunken, 1974, S.5).

Was die Funkgeräte betrifft, so kann man sagen, dass die Entwicklung Hand in Hand mit der Mikroelektronik voran schreitet. In den sechziger und siebziger Jahren steckte diese noch in den Kinderschuhen und die Funkgeräte waren dementsprechend unhandlich, voluminös und außerordentlich leistungshungrig. Dank miniaturisierter Komponenten und der Weiterentwicklung der Halbleiter-Integrationsverfahren begannen die Funkgeräte im Laufe der Zeit zu schrumpfen. Diese Entwicklung gestattete komplexere und gleichzeitig preisgünstigere Endgeräte, die zusätzliche Funktionsmöglichkeiten boten. Bereits ab Mitte der siebziger Jahre gestatteten die für Personenrufempfänger eingesetzten Techniken, kleine und leichte Geräte zu bauen, aus denen bereits in den achtziger Jahren sehr kleine, leichte und elegante Empfänger hervorgingen (vgl. Ketterling, 1998, S.1).

Gegenwärtig existieren in Österreich neben den öffentlich zugänglichen Mobilfunksystemen wie GSM und UMTS weitere Funkdienste, die nicht für jedermann zugänglich sind. Es werden dabei Frequenzen verwendet, die ausschließlich von spezifischen Anwendergruppen wie Polizei, Rettungsdiensten und anderen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben benutzt werden. Zur Erfüllung der speziellen und verschiedenartigen operationellen Anforderungen dieser Anwendergruppen wurden so genannte

Betriebsfunksysteme entwickelt. Diese verfügen typischerweise nur über einen Funkkanal, der exklusiv von allen Endgeräten gemeinsam genutzt wird. Da derartige Systeme häufig unter Frequenzüberlastung leiden, wurde angefangen, über neue Funksysteme und Funkinfrastrukturen nachzudenken. Das Ergebnis derartiger Überlegungen waren die als Nachfolgemodell für den Betriebsfunk eingeführten Bündelfunksysteme. Da jedoch keines der auf dem Markt existierenden analogen Bündelfunksysteme der ersten Generation ein ausreichendes Angebot an Sprach- und Datendiensten bieten konnte oder aus technischer Sicht in der Lage war, die prognostizierten Teilnehmerzahlen der nächsten Jahre zu bedienen, beschloss die ETSI, wie bereits erwähnt, einen Standard für ein digitales paneuropäisches Bündelfunksystem zu erarbeiten (vgl. Barrionuevo, 2002, S.92).

In Österreich startete die Bundesregierung Mitte der neunziger Jahre mit Überlegungen zur Realisierung eines bundesweiten digitalen Bündelfunksystems für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben. Die daraus resultierenden Projekte werden in den folgenden Subkapiteln vorgestellt.

5.2 Projekt „Behördenfunknetz ADONIS“

Ausgangsbasis für dieses Projekt waren die ausschließlich auf inzwischen veralteten analogen Lösungen basierenden Funknetze des Bundesministerium für Inneres (BMI), des Bundesministerium für Landesverteidigung (BMLV), der Zollwache, der Justizwache sowie der Rettungsdienste und Feuerwehren. Eine koordinierte Zusammenarbeit über Funk war nicht möglich. Nach dem erwähnten Schengener Durchführungsübereinkommen hatten alle Vertragsstaaten direkte Verbindungen der Funknetze zu schaffen, um die polizeiliche Zusammenarbeit besonders in Grenzgebieten zu ermöglichen bzw. zu erleichtern. Aus diesem Grund wurde ein europaweit harmonisierter Frequenzbereich eingerichtet, welcher ausschließlich von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben genutzt werden sollte. Wie in anderen europäischen Ländern wurde auch in Österreich ein Projekt zur Realisierung eines bundesweiten Behördenfunknetzes mit dem Projektnamen ADONIS (*Austrian Digital Operation Network for Integrated Services*) aus der Taufe gehoben. Dieses Projekt sollte allerdings, wie sich später herausstellte, nicht bis zur Vollendung kommen. Tabelle 7 zeigt einen Überblick der Kenndaten von ADONIS.

Tabelle 7: Kenndaten zum Funknetz ADONIS

Merkmal	Beschreibung
Aufgabe	Errichtung eines Funknetzes für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben.
Teilnehmer	Rund 24.500 garantierte Nutzer des BMI und des BMLV. Zusätzlich maximal 97.000 Teilnehmer bis zum Jahr 2016.
Technik	Digitaler Bündelfunkdienst nach dem TETRA-Standard.
Frequenz	Europaweit harmonisiertes Frequenzband 380 – 385 / 390 – 395 Megahertz.
Vertragsdauer	15 Jahre nach Übernahme des österreichweit voll ausgebauten Funknetzes.
Kosten	Beratungskosten: Rund 1,94 Millionen Euro. Kosten für rechtsanwaltliche Vertretung: Rund 100.000 Euro. Personalkosten: Rund 895.000 Euro. Geplante jährlicher Tarif je Endgerät: Zwischen 942,40 und 3.276 Euro.

Quelle: Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.6 (adaptiert und ergänzt)

5.2.1 Zeitlicher und inhaltlicher Projektlauf

Im Jahr 1996 nahm eine Arbeitsgruppe des BMI Vorarbeiten auf, um die einheitliche und koordinierte Planung des neuen bundesweiten digitalen Funknetzes ADONIS im europaweit harmonisierten Frequenzband sicher zu stellen. Das Funknetz war in erster Linie für die Bundespolizei sowie die Bundesgendarmerie vorgesehen. Im Zuge der Vorarbeiten wurden allerdings auch Sondierungsgespräche mit Vertretern der Feuerwehren, des Roten Kreuzes, des Bundesheeres, der Zollwache und der Justizwache geführt. Von allen Seiten wurde Interesse an der Nutzung des geplanten Funknetzes bekundet. Die Kosten für die Errichtung des Funknetzes schätzte das BMI auf rund 218 Millionen Euro allein für den eigenen Bereich. Sollten alle übrigen nationalen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben einbezogen werden, so ging man von einer Verdoppelung dieses Betrages aus. Die Betriebskosten pro Jahr schätzte das BMI auf 10 bis 15 Prozent der Errichtungskosten (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.8).

Im Dezember 1997 wurde das in Aussicht gestellte Projekt ADONIS erstmals Vertretern der potentiellen Nutzerorganisationen sowie Vertretern der

Bundesländer, der Feuerwehren und der Rettungsorganisationen präsentiert. Zum damaligen Zeitpunkt gab keine der genannten Organisationen eine bindende Zusage über die Teilnahme am Projekt ab. Im Februar 1998 wurde durch den damaligen Bundesminister für Inneres, Mag. Karl Schlögel, dem Ministerrat ein Bericht über die bisherigen Aktivitäten bezüglich ADONIS vorgelegt. Das Projekt befand sich im Planungsstadium, und allfällige Umsetzungsmaßnahmen würden erst nach der Zustimmung durch das *Bundesministerium für Finanzen* (BMF) unter der Leitung des damaligen Bundesministers für Finanzen Rudolf Edlinger erfolgen. Der Vortrag wurde vom Ministerrat zwar angenommen, es wurde aber vermerkt, dass aus dem vorliegenden Bericht keinerlei Zustimmung zu einer tatsächlichen Realisierung des Projekts abgeleitet werden kann. Im November 1999 teilte das BMF dem BMI schließlich mit, dass keine Budgetmittel für die Ausschreibung eines Berater- und Consultingvetrages zur Unterstützung des Projekts ADONIS bereitgestellt werden können. Im Dezember 1999 lehnte das BMF auch die Freigabe von Budgetmittel zur Finanzierung von Vorbereitungsmaßnahmen durch das BMI ab (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.8f).

Nach der Ablehnung der Finanzierung des ersten Projekts traf das BMI Anfang April 2000 die Grundsatzentscheidung für die Weiterentwicklung des Projekts ADONIS durch die Installation einer privaten Errichtungsunternehmung als Eigentümer und Betreiber des Funknetzes. Zu diesem Zeitpunkt ging das BMI von 22.024 Nutzern im eigenen Bereich aus und sah auch noch weitere Nutzer vor (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.9):

- Das Bundesheer (2.502).
- Die Zollwache (911).
- Die Justizwache (2.450).
- Die Schifffahrtspolizei (200).
- Rettungsorganisationen (9.300).
- Feuerwehren (33.890).
- Teilnehmer am ehemaligen Staatsgrundnetz (120).
- Bezirkshauptmannschaften (140).
- Gemeindepolizei (2.450).
- Straßenmeistereien (2.050).

Die Finanzierung der Nutzung durch Teilnehmer aus dem Bundesbereich und der Bundesländer sollte aus den jeweiligen Budgets, jene der Rettungsorganisationen und Feuerwehren durch finanzielle Unterstützung von Ländern und Gemeinden erfolgen. Eine Absichtserklärung, die eine grundsätzliche Teilnahme der

Bundesländer bezwecken sollte, wurde vom BMI durch Dr. Ernst Strasser an alle Landeshauptmänner gesandt, eine verbindliche Vereinbarung kam allerdings nicht zustande. Da die Rettungsorganisationen und die Feuerwehren auf die angesprochene finanzielle Unterstützung durch die Länder und Gemeinden angewiesen waren, konnte keine verbindliche Beteiligung am Projekt ADONIS zugesagt werden. Im Dezember 2000 veranlasste das BMI die EU-weite Ausschreibung über die Projektunterstützung für das Funknetzprojekt ADONIS. Ziel der zu vergebenden Leistung war es, dem BMI vorerst bis zur Auftragsvergabe an einen auszuwählenden Netzbetreiber fachlich zuzuarbeiten. Wesentliche Projektinhalte waren (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.12):

- Unterstützungsleistung bei der formellen Durchführung der Ausschreibung (betreffend den zukünftigen Netzbetreiber).
- Die Erarbeitung einer EU-weiten Ausschreibung nach dem Bundesvergabegesetz.
- Die Auswertung der Angebote und die Vorbereitung für die Vergabeentscheidung.
- Die Erarbeitung und Bereitstellung von „Tools“ zur Qualitätsprüfung und für das Projektcontrolling des beauftragten Netzbetreibers für die Zeit nach der Projektunterstützung.

Bis zum Ende der Ausschreibungsfrist (Februar 2001) langten elf Angebote ein, von denen drei durch das BMI ausgeschieden wurden, weil sie in wesentlichen Punkten den Ausschreibungsbedingungen widersprachen. Die Bewertung der restlichen Angebote erfolgte durch sieben Vertreter des BMI in Form einer Zuschlagskommission. Diese bestimmte im April 2001 die Arbeitsgemeinschaft aus zwei Beratungsunternehmungen als Bestbieter, die im Mai 2001 den Zuschlag mit einer Auftragssumme von 688.920 Euro erhielt. Das Angebot des Bestbieters enthielt eine genaue Auflistung der Zuordnung der einzelnen Projektmitarbeiter zu Fachgebieten bzw. Aufgaben im Projekt. Über die tatsächliche Mitarbeit in den verschiedenen Projektbereichen konnte das BMI im Zuge der Feststellungen durch den Rechnungshof keine konkreten schriftlichen Nachweise erbringen. Die spätere Abrechnung der Beratungsleistungen in Form von drei Teilrechnungen mit einer Gesamtsumme von 668.000 Euro entsprach dem Angebot (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.12f).

Im September 2002 beauftragte das BMI jene Beratungsunternehmung, die für die Beratungsleistungen zur Erstellung der Ausschreibung und Vorbereitung der Zuschlagserteilung betraut worden war, auch mit Beratungsleistungen für die Realisierung des Funknetzes. Leistungsinhalte des Folgeauftrages, für die das BMI rund 1.189.000 Euro entrichtete, waren unter anderem (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.14):

- Die Dokumentation der Spezifizierung der Leistungsinhalte nach Zuschlagserteilung.
- Die Vertragsüberwachung.
- Die Qualitätssicherung.
- Die Projektleitung.
- Die technisch-rechtliche Beratung des BMI.

Des Weiteren wurde die Beratungsunternehmung schon im Dezember 2001 mit der Erstellung eines Weißbuches sowie eines Lobbying-Maßnahmenkataloges zur Akquisition weiterer Nutzer des Funknetzes beauftragt. Als Vergütung wurde ein Pauschalhonorar von 82.847,03 Euro vereinbart und später auch überwiesen. Im September 2001 erfolgte eine öffentliche Bekanntmachung, wonach die Republik Österreich als Auftraggeber die Bereitstellung eines digitalen Funknetzes im Wege eines zweistufigen Verhandlungsverfahrens EU-weit ausschreibt. Gegenstand der Ausschreibung war die Bereitstellung, der Betrieb und die Wartung der erforderlichen Infrastruktur. Weitere Leistungen betrafen die Planung, Akquisition, Schulung, Dokumentation und Weiterentwicklung des Funkdienstes. Von vier Bewerbern forderte das BMI drei Unternehmungen bzw. Bietergemeinschaften zur Angebotslegung auf. Die kommissionelle Eröffnung der endgültigen Angebote erfolgte nach einer Phase intensiver Verhandlungen im März 2002. Die, in den Angeboten enthaltenen Businesspläne zeigten wesentliche Unterschiede (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.16ff):

- Der Bestbieter ging von maximal 121.711 Teilnehmern, der Zweitgereichte von 80.000 Teilnehmern und der Drittgereichte nur von 67.500 Teilnehmern aus.
- Der Erstgereichte nahm zur Versorgung 1.288 Sendestationen an, der Zweitgereichte ging von nur 1.039 Basisstationen aus.
- Der Erstgereichte gab die gesamte Netzinvestition mit 267,32 Millionen Euro an, der Zweitgereichte ging von 327,64 Millionen Euro aus.
- Die laufenden Betriebskosten im Jahr 2019 schätzte der Bestbieter auf rund 30,3 Millionen Euro, der Zweitgereichte nahm diese mit rund 74,0 Millionen Euro mehr als doppelt so hoch an.

Im März 2002 tagte die Zuschlagskommission. Die Vertreter des BMI unterzeichneten noch am selben Tag den Vorschlag der Zuschlagskommission, den Zuschlag an den im Prüfbericht ermittelten Bestbieter zu vergeben. Nachdem im Juli 2002 ein von den unterlegenen Bietern angestregtes Nachprüfungsverfahren vom Bundesvergabeamt wegen Unzuständigkeit

zurückgewiesen wurde, erteilte das BMI dem Bestbieter *Master-Talk*⁸ den Zuschlag. Es ist festzuhalten, dass zum Zeitpunkt der Zuschlagserteilung kein in sich geschlossenes Vertragswerk zur Errichtung des Funknetzes vorlag. Laut den Allgemeinen Vertragsbedingungen galten zwischen dem BMI und der Errichtungsunternehmung im Wesentlichen die um die beantworteten Bieterfragen ergänzte Ausschreibung, sowie das Angebot der Errichtungsunternehmung als rechtsverbindliche Bestandteile der Vertragsbeziehung (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.19).

Im September 2002 erstellten die Errichtungsunternehmung gemeinsam mit dem BMI und dem BMLV ein Projekthandbuch nach den Vorgaben der Ausschreibung. Um das Projekt steuern zu können, wurden erste Projektstrukturen, ein sehr grober Gesamtterminplan und zweiwöchentliche Projektsteuerungsmeetings vereinbart. Von der Errichtungsgesellschaft sollte monatlich ein Fortschrittsbericht für die Projektleitung des BMI erstellt werden. Im Dezember 2002 kam es allerdings zu ersten Unstimmigkeiten. Das BMI bemängelte die Fortschrittsberichte und schlug eine neue Projektorganisation vor, die eine deutliche Verschränkung zwischen BMI und Errichtungsunternehmung aufwies. Dieser Vorschlag wurde allerdings von der Errichtungsunternehmung nicht unterzeichnet und somit auch nicht umgesetzt (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.21).

Im April 2003 kam es erneut zu gravierenden Meinungsverschiedenheiten. Die Errichtungsunternehmung meldete das erste Teilnetz zur „Einleitung des Abnahmeverfahrens“ bereit. Das BMI erklärte nach veranlassten Abnahmetests im Mai 2003, dass die angebotenen Dienste nicht den vertraglichen Anforderungen entsprechen, worauf die Errichtungsunternehmung ihrerseits die Abnahmeprozedur des BMI zurückwies. Das BMI wies auf die bis dahin entstandenen Verzögerungen im Projekt, die gewünschte neue Projektorganisation, die unzureichenden Projektfortschrittsberichte und die bis dahin bereits mehrfach urgierende Erfüllungsgarantie hin. Die Errichtungsunternehmung wiederum argumentierte, dass aufgrund offensichtlich unterschiedlicher Vorstellungen bezüglich der geplanten jährlichen Einheitstarife die Projektfinanzierung und die Beibringung der Erfüllungsgarantie in Frage gestellt seien. Daher wurde das in den allgemeinen Vertragsbedingungen vorgesehene und auf vier Wochen beschränkte Verfahren zur gütlichen Bereinigung bestehender Meinungsverschiedenheiten eingeleitet. Das Streitbeilegungsverfahren dauerte von 11. bis 25. Juni 2003. Es wurden alle konkreten Problemfelder definiert und die Positionen der beiden Parteien festgestellt. Da eine Einigung nicht möglich war, kam es zur Auflösung der

⁸ Das Bieterkonsortium Master-Talk war ein Joint-Venture zwischen Siemens, den Wiener Stadtwerken, der Raiffeisen Zentralbank und dem Verbund.

Vereinbarung durch Kündigung von beiden Seiten am 26. Juni 2003 (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.21ff).

5.2.2 Zusammenfassung und Empfehlungen des Österreichischen Rechnungshofes

Die Vereinbarung zur Errichtung des Funknetzes ADONIS zwischen dem BMI und der mittels EU-weiter Ausschreibung ermittelten Unternehmung ließ wesentliche Punkte offen. Die Regelung dieser Punkte war erst für die Phase nach Zuschlagserteilung vorgesehen. Das daraus resultierende Konfliktpotential führte letztendlich zur Auflösung der Vereinbarung durch beiderseitige Kündigung und zum Scheitern des Projektes. Tabelle 8 zeigt zusammengefasst die wichtigsten Eckpunkte, von der Entscheidung für eine private Errichter- und Betreiberlösung bis zum Ende des Projekts ADONIS.

Tabelle 8: Chronologie zum Funknetzprojekt ADONIS

Zeitraum	Beschreibung
2000, April	Grundsatzentscheidung des BMI zugunsten einer privaten Errichter- und Betreiberlösung.
2000, Dezember	Ausschreibung von Beratungsleistungen (Projektunterstützung).
2001, Mai	Zuschlagserteilung über die Beratungsleistungen (Projektunterstützung).
2001, September	Ausschreibung über die Errichtung des Funknetzes.
2001, Oktober	Ministerratsbeschluss über die Realisierung des Funknetzes.
2002, März	Entscheidung der Zuschlagskommission zur Vergabe über die Errichtung des Funknetzes.
2002, Mai	Einstweilige Verfügung des Bundesvergabebeamten hinsichtlich einer Untersagung der Zuschlagserteilung.
2002, Juli	Zuschlagserteilung zur Realisierung des Funknetzes.
2002, September	Folgeauftrag über Beratungsleistungen an die zuvor beauftragte Beratungsunternehmung.
2003, Juni	Beiderseitige Kündigung der Vereinbarung über die Realisierung des Funknetzes.

Quelle: Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.6 (adaptiert)

Der Österreichische Rechnungshof führte von Dezember 2003 bis Jänner 2004 auf Antrag der Abgeordneten Dr. Cap, Dr. Kräuter und Genossen beim BMI, BMF, BMLV und BMVIT eine Gebarungsüberprüfung durch. Ergänzende Erhebungen fanden beim BMJ, der Verbindungsstelle der Bundesländer und bei einigen Bundesländern statt. Es wurden auch Gespräche mit Vertretern des Österreichischen Roten Kreuzes, des Malteser-Hospitaldienstes, der beauftragten Beratungsunternehmung und der beauftragten Errichtungsunternehmung geführt. In seinem Wahrnehmungsbericht richtete der Österreichische Rechnungshof zahlreiche Empfehlungen an das Bundesministerium für Inneres (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.45f):

- Abschluss einer bindenden Vereinbarung zwischen Bund und Bundesländer (einschließlich Rettungsdiensten und Feuerwehren) über die Teilnahme und anteilige finanzielle Beteiligung, vor Abschluss eines Vertrages über ein bundesweites Projekt zur Errichtung eines Behördenfunksystems.
- Die Mitwirkung des BMLV an einem zukünftigen Funknetzprojekt ist im Sinne eines effizienten Katastrophenschutzes anzustreben (siehe 5.5 Aktuelles).
- Wesentliche Projektvorgaben, wie beispielsweise die Tarifgestaltung, die Erbringung von Beistellungen, die Methoden des Abnahmeverfahrens sollen bereits vor der Zuschlagserteilung klar geregelt werden.
- Die wesentlichen Grundzüge des Projektmanagements sind bereits vor Zuschlagserteilung hinreichend detailliert zu regeln.
- Im Wege der Vertragsgestaltung sollen wesentliche Einflussmöglichkeiten und Kontrollrechte, insbesondere das Recht des BMI auf jederzeitige Abtretung der Funkinfrastruktur gegen Abgeltung durch das BMI abgesichert werden.
- Beratungsleistungen sollen bereits bei ihrer Ausschreibung detailliert geregelt und die Erfüllung von vereinbarten Leistungen sorgfältig geprüft werden.
- Die wesentlichen Kalkulationsgrundlagen sollen einer vertieften Prüfung unterzogen werden.
- Der Budgetbedarf soll rechtzeitig und umfassend ermittelt sowie in voller Höhe veranschlagt werden.
- Eine Projektkostenrechnung soll zu Steuerungszwecken durchgeführt werden.

- Bereits in der Ausschreibung sollen optionale Angebote für die zusätzliche Funkversorgung bestimmter Kategorien von Örtlichkeiten und Gebäuden eingeholt werden.
- Der genaue Endgerätebedarf soll erhoben und einem etwaigen Folgeprojekt zugrunde gelegt werden.
- Für die Vertretung vor den Gerichten soll die Finanzprokuratur in Anspruch genommen werden.
- Eine Überwachung und Steuerung durch die Abteilung Budget und Controlling oder durch eine interne Revision soll sichergestellt werden.

Dem Bundesministerium für Finanzen erteilte der Rechnungshof folgende Empfehlungen (vgl. Österreichischer Rechnungshof, 2004, S.46):

- Im Rahmen eines zukünftigen Funknetzprojektes soll auf ein möglichst frühzeitiges Einvernehmen mit den Bundesländern, insbesondere bei der Aufteilung der anteiligen Projektkosten, Bedacht genommen werden.
- Die Einhaltung der haushaltsrechtlichen Bestimmungen hinsichtlich der Veranschlagung soll sichergestellt werden.

5.3 Projekt „Digitalfunk BOS Austria“

Nach dem Scheitern von ADONIS beabsichtigt das BMI gemeinsam mit den Ländern, nun im Rahmen dieses Projektes in den kommenden Jahren die gesamte bundesweite Funkkommunikation in Österreich auf eine digitale Bündelfunktechnik umzustellen. Dieses neue System soll in weiterer Folge allen Blaulichtorganisationen, wie zum Beispiel Bundesheer, Justiz- u. Zollwache, Organisationen der Bundesländer, Rettungswesen, Feuerwehren, etc. zur Verfügung stehen. Mit dem Land Tirol wurde bereits eine Vereinbarung über die organisationsübergreifende Nutzung des neuen Systems für das Gebiet des Landes Tirol geschlossen. Mit den anderen Bundesländern wurden Gespräche aufgenommen, die die Entscheidungsgrundlage auf Länderseite bilden sollen. Derzeit sind im Bereich des BMI nach wie vor Funksysteme, die zum größten Teil noch auf analoger Technologie basieren, in Verwendung. Einzig für spezielle Bereiche wurde bereits ein digitales Funksystem eingeführt. Andere BOS wie Feuerwehr oder ähnliche Rettungsorganisationen haben ebenfalls analoge Funknetze in Betrieb. Ein weiterer Ausbau dieser bestehenden analogen Funknetze ist nicht mehr zielführend. Einerseits sind keine geeigneten Frequenzen vorhanden, andererseits wäre es höchst unökonomisch, in eine veraltete Technologie zu investieren, die keine zukunftsorientierte Planung zulässt (vgl. BMI, 2006).

Aus der europaweiten Ausschreibung zur Realisierung und zum Betrieb eines einheitlichen digitalen Funksystems für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben in Österreich ging die Firma *TETRON Sicherheitsnetz Errichtung und BetriebsgmbH* hervor. An diesem Gemeinschaftsunternehmen ist die Motorola GmbH zu 65% und die Alcatel Austria AG zu 35% beteiligt. Derzeit arbeitet ein junges Team von rund 35 Mitarbeitern bei der TETRON Sicherheitsnetz Errichtungs- und BetriebsgmbH an der erfolgreichen Umsetzung dieses Projekts. Motorola ist Marktführer bei der Errichtung von TETRA Netzen (120 Kunden in 44 Ländern weltweit). Von Beginn an war Motorola maßgeblich an der Entwicklung des TETRA Standards beteiligt. Motorola errichtete in Großbritannien und in den Niederlanden landesweite Funksysteme für Sicherheitsbehörden. Auch bei den Olympischen Sommerspielen 2004 in Athen nutzten 22.000 Sicherheitskräfte TETRA Funkgeräte von Motorola. Für die Errichtung des „Digitalfunk BOS Austria“ ist Motorola der Technologielieferant. Die Alcatel Austria AG ist führender Dienstleister am Telekomsektor mit großer Erfahrung in den Bereichen Planung, Aufbau und Wartung mobiler Netze. Alcatel liefert Kommunikationslösungen für feste und mobile Breitbandnetze und bietet seinen Kunden Applikationen und Services für benutzerorientierte Breitbandlösungen. Alcatel ist in mehr als 130 Ländern weltweit vertreten (vgl. Tetron, 2005).

5.3.1 Anforderungsanalyse

Der digitale Funkdienst soll entsprechend den taktischen, betrieblichen und sicherheitstechnischen Anforderungen der unterschiedlichen Nutzerorganisationen von einem Netzbetreiber zur Verfügung gestellt und rund um die Uhr betrieben werden. Folgende Punkte müssen von einem gemeinsamen digitalen Bündelfunksystem für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben erfüllt werden (vgl. BMI, 2006):

- Sprachkommunikation in der Form von Einzel- und Gruppenkommunikation.
- Datenkommunikation.
- Kurzmeldungsdienste.
- Paging (siehe 5.3.6 Probleme bei der Integration der Feuerwehren).
- Notruffunktionalität.
- Verschlüsselung.
- Erfüllung der von Blaulichtorganisationen gestellten Sicherheitsanforderungen.

- Kurze Gesprächsaufbauzeiten.
- Priorisierung von Gesprächen.
- Netzunabhängige Verbindungen.
- Rasche Erweiterbarkeit bei Sonderlagen.
- Schnittstellen zu anderen Kommunikationsnetzen.
- Schnittstellen zu Einsatzleitzentralen.
- Operatives Netzmanagement für die Nutzerorganisation.
- Technisches Netzmanagement, welches bei Bedarf auch durch den Auftraggeber betrieben werden kann.

5.3.2 Zeitlicher Ablauf

Mit der Veröffentlichung der Interessentensuche wurde das Vergabeverfahren im Dezember 2003 gestartet. Im ersten Halbjahr des darauf folgenden Jahres wurden die Bieterverhandlungen durchgeführt. Als Bestbieter wurde die Bietergemeinschaft aus den Firmen Alcatel Austria AG und Motorola GmbH ermittelt, mit der am 24. Juni 2004 auch der Vertrag unterzeichnet wurde. Aus dieser Bietergemeinschaft ging, wie bereits erwähnt, die Firma TETRON Sicherheitsnetz Errichtung und BetriebsgmbH hervor, die somit für die Errichtung und den Betrieb des TETRA-Systems verantwortlich ist. Die Bundesländer Tirol und Wien konnten den Betrieb im Jänner 2006 aufnehmen, Niederösterreich (gemeinsame Nutzung durch öffentliche Institutionen und Blaulichtorganisationen ab 2007) und die Steiermark (Ausbau bis spätestens Ende 2007) werden als nächstes folgen. Der österreichweite Betrieb ist für das Jahr 2009 geplant (siehe Tabelle 9, vgl. BMI, 2006).

Tabelle 9: Aktuelle politische Entwicklung des Netzwerk-Ausbaus

Datum	Ereignis
27.06.2005	Unterzeichnung einer Vereinbarung zwischen BMI und der Stadt Wien durch Innenministerin Liese Prokop und Bürgermeister Dr. Michael Häupl.
18.07.2005	Unterzeichnung einer Vereinbarung über den Aufbau eines Bündelfunknetzes für Niederösterreich durch Innenministerin Liese Prokop und Landesrat Dipl.-Ing. Josef Plank in St. Pölten.

Datum	Ereignis
02.08.2005	Unterzeichnung der Vereinbarung zur Realisierung des Digitalfunk-Projektes für Blaulichtorganisationen im Bundesland Steiermark durch Innenministerin Liese Prokop und Frau Landeshauptmann Waltraud Klasnic.
04.01.2006	Präsentation des neuen Digitalfunknetzes für das Bundesland Tirol durch Innenministerin Liese Prokop und Landeshauptmann Dr. Herwig van Staa.
10.01.2006	Präsentation des neuen Digitalfunknetzes in Wien durch Innenministerin Liese Prokop und Bürgermeister Dr. Michael Häupl.
18.01.2006	Unterzeichnung eines Kooperationsvertrags zur Nutzung des digitalen Behördenfunks durch Innenministerin Liese Prokop und Justizministerin Karin Gastinger.

Quelle: Eigene Tabelle

5.3.3 Eingesetzte Hardware

5.3.3.1 Funkstationen

Die Bereitstellung des digitalen Funkdienstes wird in einzelnen Ausbauphasen vorgenommen, durch die eine Einführung von Bundesland nach Bundesland gewährleistet wird. Nach dem Vollausbau soll der Funkdienst über den Zeitraum von 25 Jahren sichergestellt werden. Allfälligen technologischen Entwicklungen soll in diesem Zeitraum durch entsprechende Systemerweiterungen Rechnung getragen werden. TETRON sieht für den Roll-Out Österreich 1.200 Basisstationen und den geplanten Endausbau für 2009 vor (siehe Tabelle 10). In Wien wurden 23 Basisstationen für die oberirdische Versorgung errichtet. Weitere 45 Basisstationen sollen auch in der U-Bahn die Kommunikation der Einsatzkräfte sichern. Auch der "Korridor Flughafen", die Verbindung der Bundeshauptstadt zum Flughafen Wien-Schwechat, und der Flughafen selbst werden bereits mit dem neuen Funksystem versorgt (vgl. Tetron, 2005).

Tabelle 10: Roll-Out Österreich

Bundesland	Basisstationen	Endausbau	Inbetriebnahme
Wien	23	23	In Betrieb
Niederösterreich	3	220	Ende 2007
Burgenland	-	-	-
Oberösterreich	-	-	-
Steiermark	-	220	Ende 2007
Kärnten	-	-	-
Salzburg	-	-	-
Tirol	160	180	In Betrieb
Vorarlberg	-	-	-

Quelle: Tetron, 2005

5.3.3.2 Verfügbare Funkgeräte

Welche Funkgeräte im Bereich des BMI tatsächlich eingesetzt werden, wird noch entschieden. Das Justizministerium beabsichtigt, insgesamt 700 Endgeräte anzuschaffen. 1.369 digitale Funkgeräte sollen im nächsten Monat an die Tiroler Polizei-Dienststellen ausgegeben werden. Tabelle 11, Tabelle 12 und Tabelle 13 zeigen eine Auswahl von in Frage kommenden Funkgeräten namhafter Hersteller (vgl. BMI, 2006).





Tabelle 11: Funkgeräte für TETRA Funkssysteme (Motorola)

Technische Daten	MTH 800	MTH 650	MTP 700	MTH 500	MTM 700
Symbolbild					
Temperatur-Bereich (Betrieb in °C)	-20/+60	-20/+60	-30/+60	-20/+60	-30/+60

Technische Daten	MTH 800	MTH 650	MTP 700	MTH 500	MTM 700
Verschlüssel.	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2
Betriebsdauer	>12 Std.	12 Std.	22 Std.	12 Std.	12 Volt KFZ Versorgung
Abmessung (BxHxT in mm)	55x141 x32	55x141 x32	55x138 x39	55x140 x31	Funkgerät: 170x49x155 Bedienteil: 185x72x53
Gewicht in Gramm	228	228	360	193	1650






Quelle: BMI, 2006 (adaptiert)

Tabelle 12: Funkgeräte für TETRA Funkssysteme (Nokia)

Technische Daten	THR 880i	THR 880	THR 850	TMR 880
Symbolbild				
Temperaturbereich (Betrieb in °C)	-20/+55	-20/+55	-20/+55	-30/+55
Verschlüsselung	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2
Betriebsdauer	>11-25 Std.	>11-25 Std.	11 Std.	12 Volt KFZ Versorgung
Abmessungen (BxHxT in mm)	57x147x35	57x147x35	53x137x36	188x60x130
Gewicht in Gramm	247	245	196	1087

Quelle: BMI, 2006 (adaptiert)

Tabelle 13: Funkgeräte für TETRA Funksysteme (Sepura)

Technische Daten	SRP 1000	SRP 2000	SRP 2000sGPS	SRM 1000	SRM/SRG 2000
Symbolbild					
Temperatur-Bereich (Betrieb in °C)	-20/+55	-20/+55	-30/+55	-20/+55	-30/+55
Verschlüssel.	TEA1 od. TEA2	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2	TEA1, TEA2
Betriebsd.	>15 Std. (5/20/75)	14 Std. (5/5/90)	k.A. (5/5/90)	12 Volt KFZ Versorgung	12 Volt KFZ Versorgung
Abmess. (BxHxT in mm)	62x165 x46	58x130 x30	58x130 x30	180x60x175	Funkgerät: 180x54x110 Bedienteil: 187x64x30
Gewicht in Gramm	550	199	200	2050	1180

Quelle: BMI, 2006 (adaptiert)

5.3.4 Testbetriebe

Vom 12. bis 22. Jänner 2005 fand im Raum Innsbruck die *22. Winter-Universiade*⁹ mit mehr als 1.500 Sportlern aus 53 Nationen, 600 Offiziellen, rund 3.500 Akkreditierten und über 70.000 Zuschauern statt. Neben den sportlichen Wettkämpfen ist natürlich die Sicherheit sämtlicher Teilnehmer und Besucher bei einer derartigen Großveranstaltung ein wichtiger Aspekt. Diese Sicherheitsgewährleistung verlangt nach einer sichergestellten Kommunikation aller Beteiligten. Aus diesem Grund hat das BMI gemeinsam mit dem Land Tirol

⁹ Winteruniversiaden sind Weltwinterspiele der Studierenden (auch: World University Winter Games), die als Leistungssportveranstaltung jeweils in ungeraden Jahren und an wechselnden Austragungsorten, den Host Cities, mit der Unterstützung der FISU (Fédération Internationale du Sport Universitaire = Internationaler Universitätssportverband) veranstaltet werden.

beschlossen, als Pilotphase für den bundesweiten Ausbau, an allen Austragungsorten der Universiade das neue digitale Bündelfunksystem „Digitalfunk BOS Austria“ zu verwirklichen. Als Folge wurde die gesamte Kommunikation des Organisationskomitees, der Gendarmerie, der Polizei, der Rettungsdienste und der Feuerwehr über das neue TETRA-System abgewickelt. Tirol war somit das erste Bundesland Österreichs, das dieses neue System gemeinsam mit dem BMI realisierte. Laut BMI zeigten sich die Anwender von der Leistungsfähigkeit und der Sprachqualität beeindruckt. Durch folgende technische Merkmale zeichnete sich das Funksystem während der Universiade aus (vgl. BMI, 2006):

- Versorgungsgebiet: Die Bereiche Innsbruck, Innsbruck Land und Hochfilzen.
- 15 Basisstationen.
- Vier Dispatcherarbeitsplätze.
- 500 Funkgeräte.
- 150 verschiedene Sprechgruppen.
- Rund 5.000 Funksprüche pro Tag.
- Rund 65.000 Funksprüche insgesamt.
- In Spitzenzeiten rund 800 Rufe pro Stunde.

Auch während des *Hahnenkammrennens 2006* wurde beim Einsatz der Exekutive an den Renntagen vom 20. bis zum 22. Jänner in Kitzbühel im digitalen Netz gefunkt. Zehn der 21 Dienstfahrzeuge des Bezirks Kitzbühel, die mit den neuen digitalen Funkgeräten ausgestattet sind, wurden bei diesem Großereignis eingesetzt. In den Bereichen Verkehrsregelung und Verkehrskontrolle kamen rund 45 Funkgeräte zum Einsatz. 26 Handfunkgeräte wurden am Pistenrand eingesetzt, mit dem Ziel, rasche und reibungslose Kommunikation zu ermöglichen. Am Tag der Herrenabfahrt wurden mehr als 2.000 Rufe pro Basisstation geführt (vgl. BMI, 2006).

5.3.5 Die Integration von Rettungsorganisationen am Beispiel LEBIG

Das Unternehmen LEBIG (*Leitstellen- Entwicklungs-, Betriebs- und Integrations-Ges.m.b.H*), welches sich aus den Gesellschaftern Österreichisches Rotes Kreuz Landesverband Niederösterreich, Arbeitersamariterbund Landesverband Niederösterreich und ÖAMTC Christophorus Flugrettungsverein zusammensetzt, ist eine gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung. Die Hauptaufgaben bestehen in der Entgegennahme, Beurteilung, Abarbeitung, Umsetzung und

Übergabe von Krankentransportanforderungen, Rettungsdienstanforderungen, Notarztanforderungen jeglicher Art, Rufhilfeanforderungen (Altennotruf), Anforderungen aus dem Gesundheits- und Sozialdienstbereich, Ärztedienstvermittlung sowie der Errichtung und Betreuung einer Hotline bei Großunfällen und Katastrophen und einer Informationsschiene für die Bevölkerung (Blutspenden, Kurse, etc.). Auch die Zusammenarbeit und Leitstellentätigkeit für den Österreichischen Bergrettungsdienst Wien und Niederösterreich und die Ärztekammer Niederösterreich gehören zu den Aufgaben der LEBIG (vgl. LEBIG, o.J.). Im Jänner 2006 nahm die LEBIG eine eigene Homepage in Betrieb, um regelmäßig über den aktuellen Stand des TETRA-Digitalfunks vor allem in Niederösterreich berichten zu können (vgl. Tetranetz, o.J.).

Großer Wert wird innerhalb der LEBIG auf die Trennung von „Funken“ und „Alarmieren“ gelegt. Rettungswagen, Notarztthubschrauber und Feuerwehrautos, alle ausgestattet mit den neuesten TETRA-Funkgeräten, und die beteiligten Mitarbeiter, die auf einen Einsatz warten, sind nutzlos, wenn sie nicht verlässlich alarmiert werden und somit nicht ausrücken. Um dies zu verdeutlichen, wird die Unterscheidung in Alarmierung und Mobilisation unternommen (vgl. Tetranetz, o.J.):

- *Alarmierung* ist das dringende Aufbieten von Einsatzkräften. Die Übermittlung geschieht als Einweg-Kommunikation. Sie adressiert Personen, welche in Bereitschaft stehen, Leben zu retten und/oder Schaden an öffentlichem oder privatem Eigentum zu begrenzen.
- Die *Mobilisation* ist das Verschieben von Einsatzmitteln mittels Einsatzkräften. Die Mobilisation geschieht durch Zweiweg-Kommunikation (also mittels Funknetze wie zum Beispiel TETRA).

Da es sich hier um zwei grundsätzlich verschiedene Aufgaben und somit auch verschiedene Techniken handelt (ein Alarmierungsnetz wird für die Alarmierung verwendet, ein Funknetz für die Kommunikation der Einsatzkräfte untereinander), werden Alarmierungsnetze im Normalfall unabhängig von Funknetzen betrieben. Eine Alarmierung (Pager, Sirene, usw.) sollte daher auf einer vom Funknetz unabhängigen Ebene stattfinden. Diese Ebene stellen zumeist Pagernetze dar, da sie eine bessere Gebäudedurchdringung und Flächenversorgung als ein zellulares Funknetz wie beispielsweise TETRA aufweisen. Da es derzeit keine TETRA-Pager gibt, sind digitale Pager, die andere Standards verwenden, eine günstigere Alarmierungsvariante als die Alarmierung über das TETRA-Netz. Personen in Bereitschaft, wie Dienstaufsichten oder Feuerwehrmitarbeiter, werden auch weiterhin lieber einen kleinen Pager tragen, als mit einem großen TETRA-Funkgerät herumzulaufen, welches außerdem höhere Anschaffungskosten aufweist. Aus all diesen Gründen betreibt die LEBIG in Niederösterreich ein digitales Alarmierungsnetz auf dem POCSAG-Standard (vgl. Pagernetz, o.J.).

Das Herzstück der Rettungsleitstelle ist das Einsatzleitsystem. Im Einsatzleitsystem werden alle Anruferdaten aufgenommen, es sind sämtliche Ressourcen und deren Erreichbarkeiten in Datenbanken abgelegt, regionale und überregionale Kontakte und Telefonnummern (von Ärzten bis zu lokalen Objekten wie Fußballplatz, usw.) sowie alle offiziell gebauten Gebäude von ganz Niederösterreich koordinatengenau erfasst. Der neue Digitalfunk TETRA soll direkt in das zukunftsorientierte Einsatzleitsystem der LEBIG eingebunden werden. Die Funkbedienung selbst ist über das Einsatzleitsystem möglich, die Datenübertragung wird direkt über die Datenbanken, die Sprache über die bereits bestehenden *IP-Phones* abgehandelt werden. Das in Verwendung stehende Einsatzleitsystem *NOVOtec* und die gesamte Rettungsleitstelle LEBIG sind bereits fit für TETRA. Das Einzige, was noch nicht mitgeteilt wurde, ist die Information der endgültigen Schnittstellen zum TETRA-Netz sowie eine Definition der Funk-Gruppen, damit die LEBIG diese Daten ins Einsatzleitsystem implementieren kann. Sobald diese Informationen zur Verfügung gestellt werden, kann damit begonnen werden, beispielsweise in Rettungsautos TETRA-Funkgeräte einzubauen, und somit das Funknetz mit der Rettungsleitstelle LEBIG zu testen. Nach aktuellen Berichten statteten bereits Vertreter der Siemens AG Österreich der LEBIG in Tulln einen Besuch ab. In den Vorbereitungsarbeiten für die Umsetzung des neuen Behördenfunks in Österreich holten sich die Kommunikationsspezialisten von den Leitstellenspezialisten Informationen über die Anforderungen und Bedürfnisse der Rettungsdienste und ihrer Rettungsleitstelle (vgl. Tetranetz, o.J.).

5.3.6 Probleme bei der Integration der Feuerwehren

Das Thema TETRA ist für österreichische Feuerwehren weit weniger wichtig als für Sicherheitsdienste, die ein leistungsfähiges und abhörsicheres Funknetz als essentiell erachten. Das Hauptaugenmerk der Feuerwehren liegt auf den Notrufzentralen mit funktionierendem Alarmierungsnetz. Letzteres ist ein besonders wunder Punkt bei den Verhandlungen zur Teilnahme an dem bundesweiten neuen Digitalfunk BOS Austria. Ende Jänner 2004 nahmen mehr als 100 Teilnehmer aus sechs europäischen Ländern an einer Alarmierungskonferenz der Firma Swisssphone teil. Dabei wurden die Anforderungen an ein Alarmierungssystem eindeutig festgelegt (vgl. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, 2004):

- Rasche und einfache Übermittlung der Alarmmeldung.
- Verzögerungsfreiheit.
- Gleichzeitige Alarmierung aller erforderlichen Personen bzw. Personenkreise.
- Absolute Zuverlässigkeit des Systems, 365 Tage im Jahr, 24 Stunden täglich.

- Sichergestellte Erreichbarkeit der Hilfskräfte durch Flächendeckung und Gebäudedurchdringung des Funksignals (möglichst bis in Tiefgaragen hinein).
- Redundanz und Notstromversorgung aller kritischen Anlagenelemente.
- Keine blockierenden Störeinflüsse durch andere Funknetze oder Sprechfunk.
- Geringe Betriebskosten.
- Rasches und zuverlässiges Service.

Für das Empfangsgerät wurden ebenfalls verbindliche Anforderungen definiert (vgl. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, 2004):

- Tragekomfort (geringe Größe, geringes Gewicht).
- Bedienungsfreundlichkeit.
- Wartungsfreiheit.
- Lange Lebensdauer (> 7 Jahre).

Durch die Ankündigung, ein gemeinsames digitales TETRA-Netz zu errichten, und die daraus entstandene große Erwartungshaltung, wurden viele Projekte und Investitionen im Bereich der Alarmierung vorerst auf Eis gelegt. Diese Erwartungen in Bezug auf die Alarmierung wurden allerdings enttäuscht. In zahlreichen Pilotprojekten, unter anderem in Aachen (siehe Subkapitel 4.4.2 Pilotprojekt Aachen), kam man zu dem Schluss, dass TETRA definitiv kein auf die Alarmierung ausgerichtetes System darstellt. Damit ist die Frage, ob man bei Alarmierungssystemen ausschließlich auf den digitalen Bündelfunk setzen soll, für den *Österreichischen Feuerwehrverband* (ÖFWV) mit einem klaren Nein zu beantworten. Dies wird aber nicht als Nachteil gesehen, da die Trennung zwischen Alarmierungs- und Kommunikationssystem, wie bereits im Fall der LEBIG beschrieben, ohnehin dringend empfohlen ist (siehe Subkapitel 5.3.5 Die Integration von Rettungsorganisationen am Beispiel LEBIG). In diesem Zusammenhang wurde darüber nachgedacht, das bestehende GSM-Netz für die Alarmierung zu nutzen. Die vermeintlichen Vorteile liegen auf der Hand. Nahezu jeder besitzt bereits ein GSM-Mobiltelefon. Das GSM-Netz bietet somit hohe Akzeptanz der Benutzer, hohe Erreichbarkeit und weder Anschaffungs- noch Wartungskosten bei den Endgeräten für die Hilfsorganisation, im speziellen der Organisationen auf freiwilliger Basis. Dazu wurde in Vorarlberg ein Versuchsprojekt durchgeführt. Man hat parallel zum bestehenden digitalen POCSAG-System das auf SMS-Übermittlung basierende digitale Informationssystem für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

(DIBOS) aufgebaut. Parallel zu den POCSAG-Pagern wurde gleichzeitig automatisch die SMS-Übertragung ausgelöst. Folgende Erfahrungen aus dem zweijährigen Testbetrieb wurden gemacht (vgl. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, 2004):

- Durchschnittlich benötigte die SMS-Meldung 15 bis 20 Sekunden länger als das POCSAG-Signal.
- Die Verfügbarkeit des Netzes war bei diversen Großereignissen (zum Beispiel Tunnelunfall Amberg, Giftgasunfall Bahnhof Feldkirch, Großbrand Löwenhotel Feldkirch) und diversen lokalen Kleinereignissen durch Überlastung nicht ausreichend gegeben.
- Größte Probleme mit dem hergestellten SMS-Infosystem traten bei Ereignissen mit Verkehrsstaubildungen auf.

Ein weiteres schwerwiegendes Problem stellen die Alarmierungskosten unter Verwendung von SMS dar. So hat die Rettungs- und Feuerwehrleitstelle Vorarlberg im Jahr 2003 rund 150.000 Einzelalarmierungen durchgeführt und damit cirka eine Million POCSAG-Pager ausgelöst. Per SMS (mit angenommenen 0,12 Euro pro SMS) würde diese Alarmierungsanzahl Kosten in der Höhe von rund 120.000 Euro verursachen. Daraus ergibt sich die Erkenntnis, das Paging weiterhin das Alarmierungsmittel erste Wahl bleibt (vgl. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, 2004).

5.4 Kosten/Nutzen-Aspekte

Wirtschaftlichkeit im Sinne eines guten Preis/Leistungs-Verhältnisses für Anschaffungs-, Installations- und laufende Betriebskosten eines digitalen Funknetzes verlangt generell nach (vgl. Ketterling, 1998, S.3f):

- Niedrigen Gerätekosten.
- Niedrigen Infrastrukturkosten.
- Einfacher und kostengünstiger Installation von Geräten und Infrastruktur.
- Geringe Gebühren.
- Geringe Betriebskosten, wie beispielsweise lange Batteriestandzeiten, eventuell durch Energiesparmodi und Sendeleistungsregelung unterstützt.
- Günstige Übergangsmöglichkeit von analoger auf digitale Übertragung, ggf. durch Geräte mit kombinierten Betriebsarten, um beim Übergang nicht komplette Systeme austauschen zu müssen.

Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass aufgrund der begrenzten Marktgröße im Bereich des digitalen Bündelfunks die Kosten von Geräten und Infrastruktur derzeit nicht beliebig verringert werden können, wie dies zum Beispiel bei GSM in der Vergangenheit der Fall war. Daher wird im Allgemeinen danach getrachtet, einerseits die laufenden Gebühren und sonstigen Kosten so gering wie möglich zu halten, andererseits kommen gerade im Fall von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben auch staatliche Subventionsprogramme zur Anwendung.

5.4.1 Herstellungskosten und laufende Kosten

Im Falle des Projekts Digitalfunk BOS Austria ist vom Auftraggeber beabsichtigt, dem Netzbetreiber diverse Einrichtungen wie zum Beispiel Standorte, Übertragungseinrichtungen, Personal, etc. zur Verfügung zu stellen bzw. die Integration des neuen Funkdienstes mit bestehenden Einrichtungen des Auftraggebers zu verlangen. Wahlweise können die genannten Einrichtungen auch von weiteren Organisationen kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. Durch die Einbringung dieser Eigenleistungen sollen notwendige Investitionskosten für den Betreiber gesenkt und somit die Kosten für die Nutzer möglichst gering gehalten werden (vgl. BMI, 2006).

Die Gesamtkosten für die Errichtung des Behördenfunknetzes in Österreich werden auf 133 Millionen Euro geschätzt (vgl. Die Presse, 2006). Was die Aufteilung dieser Kosten zwischen Bund und Ländern betrifft, existieren widersprüchliche bzw. nicht eindeutige Informationen. Am wahrscheinlichsten ist, dass das jeweilige Bundesland die Standorte für die Basisstationen bereitstellen wird, und die restlichen Errichtungskosten der Bund trägt. Sofern die Länder doch die Betreibergesellschaft damit beauftragen, die Standorte zu errichten, soll ein monatliches Entgelt fällig werden (vgl. Projektgruppe Digitalfunk, 2006).

Über die Kosten für die Endnutzer findet man derzeit noch keine offizielle Stellungnahme, sondern nur ungefähre Aussagen. In Niederösterreich beispielsweise, stellt sich die Situation wie folgt dar: Die Kosten für den Aufbau des TETRA-Netzes sollen, wie oben erläutert, durch die Republik Österreich und das Land Niederösterreich gemeinsam getragen werden. Für die darauf folgende Nutzung durch die jeweiligen Organisationen ist von der Betreibergesellschaft kein laufendes Entgelt vorgesehen. Das Funknetz soll für diverse Grundfunktionen wie Sprachfunk, SDS, usw. kostenlos zur Verfügung stehen. Die einmaligen Anschaffungskosten für Funkgeräte mit Zubehör wie Freisprecheinrichtung und Kleinteile werden je nach Gerätetyp inklusive Einbaukosten durch Vertragswerkstätten ungefähr 1.000 bis 1.500 Euro je Funkgerät betragen. Ob diese Kosten von den Nutzern selbst, von den Ländern, den Gemeinden oder von Sponsoren übernommen werden, ist noch Verhandlungssache. Auch die Abwicklung von laufenden Reparaturkosten an den TETRA-Endgeräten, wie

möglicherweise „Reparatur nach Aufwand“, Wartungsverträge oder ähnliches, ist noch nicht festgelegt (vgl. Tetranetz, o.J.).

5.4.2 Praktischer Nutzen von TETRA

Allein schon die Tatsache, dass durch die Einführung eines bundesweiten TETRA-Systems einige analoge Systeme obsolet werden, bringt einen allgemeinen Nutzen, da Frequenzen eine knappe Ressource darstellen. Digitale Sprachübertragung kann mit der heutigen Technologie störunempfindlicher und gleichzeitig spektral effizienter durchgeführt werden. Weiters gestattet sie eine überlegene Verständlichkeit und Sprachqualität. Außerdem bietet die Einführung digitaler Sprachübertragung die Möglichkeit, durch Verschlüsselung Vertraulichkeit zu wahren, ohne großen zusätzlichen Hardwareaufwand. Schließlich bietet die digitale Technik alle notwendigen Voraussetzungen für jede Art von Datenübertragung, von kurzen Meldungen bis hin zu anspruchsvolleren Möglichkeiten wie der Übermittlung von Texten und Dateien bis hin zu Bildern und Videos (vgl. Ketterling, 1998, S.6).

Der TETRA-Standard im Besonderen bietet die Möglichkeit, ein einziges physikalisches Netz unter verschiedenen Organisationen aufzuteilen. Jede Organisation kann dabei eine geschlossene Benutzergruppe für ihre Teilnehmer bilden und ist somit von den anderen Organisationen bzw. deren Teilnehmern scheinbar unabhängig. Bei derartigen Implementierungen spricht man von virtuellen Netzen. Die Benutzer der virtuellen Netze verschiedener Organisationen, aber auch die von organisationsinternen virtuellen Netzen stören einander nicht. Durch diese Eigenschaft des TETRA-Standards wird der Aufbau eines bundes- bzw. landesweiten Behördennetzes, in dem jede Organisation (Polizei, Feuerwehr, Rettung, etc.) ihr eigenes virtuelles Netz benutzt, erst möglich. Von Seiten des BMI werden die folgenden Punkte als Gründe bzw. Nutzensvorteile für ein neues, gemeinsames digitales Bündelfunksystem genannt (vgl. BMI, 2006):

- Organisationsübergreifende Zusammenarbeit, insbesondere im Einsatz- und Katastrophenfall.
- Verbessertes Frequenzmanagement.
- Abhörsicherheit und höhere Systemsicherheit (siehe Subkapitel 3.1.3.2 Verschlüsselung).
- Neue Funktionalitäten wie insbesondere Einzelruf, Short Data Service, Datenübertragung, Netzunabhängige Verbindungen.
- Möglichkeit des grenzüberschreitenden Funkverkehrs (siehe Subkapitel 4.1.2 Das Dreiländerprojekt).
- Verbesserung der derzeitigen Funkabdeckung.

- Nutzung neuer Applikationen (zukunftsweisende Datenapplikation, Übermittlung von Einsatzplänen in die Einsatzfahrzeuge, EKIS-Anfragen¹⁰ aus dem Fahrzeug vor Ort).
- Schaffung von Schnittstellen zu anderen Kommunikationsnetzen.
- Einheitliche Ausstattung bei den Endgeräten.
- Verknüpfung mehrerer Endgeräte in einem Gerät (Funkgerät, Mobiltelefon und Personenrufgerät).

Wenn gleich Bündelfunksysteme das zur Verfügung stehende Frequenzspektrum nicht erweitern können, so tragen sie doch durch Optimierung der Frequenzausnutzung und durch Erhöhung der Kanalnutzung zur Verbesserung der Dienstgüte sowohl für Endbenutzer als auch für Netzbetreiber bei. Der Fortschritt bei Bündelfunksystemen besteht darin, dass den Anwendern bzw. Anwendergruppen nicht nur jeweils ein Kanal, wie beispielsweise bei herkömmlichen Betriebsfunksystemen, sondern ein Kanalbündel zur Verfügung gestellt wird. Der einzelne Kanal wird einem Benutzer vom System nur bei Bedarf zugeordnet und anschließend sofort wieder entzogen. Während man beim Betriebsfunk warten musste, bis der der eigenen Anwendergruppe zugeordnete Kanal freigegeben wurde, kann der Benutzer im Bündelfunksystem sprechen, sobald irgendein beliebiger Kanal des Kanalbündels frei wird. Die übliche maximale Wartezeit liegt dabei im Sekundenbereich. Das gesamte Verkehrsaufkommen wird auf alle verfügbaren Funkkanäle aufgeteilt (vgl. Barrionuevo, 2002, S.92).

5.5 Aktuelles

Neben dem Behördenfunknetz für Polizei, Rettung und Feuerwehr entsteht in Österreich ein zweites Funknetz für die alleinige Nutzung durch das Bundesheer. Während das Innenministerium um erwähnte 133 Millionen Euro ein Behördenfunknetz nach dem TETRA-Standard aufbaut, will das Bundesheer unter dem Projektnamen *Conrad* ein eigenes Netz aufbauen, dessen Wert auf rund 100 Millionen Euro geschätzt wird. Bis Ende Juni soll der Auftrag zur Errichtung des Netzes vergeben werden. Wie von einem Sprecher des Verteidigungsministeriums dazu verlautbart, benötigt das Bundesheer ein System, mit dem bei Einsätzen im Inland sowie im Ausland kommuniziert werden kann. Außerdem sei das TETRA-

¹⁰ EKIS (Elektronisches kriminalpolizeiliches Informationssystem) ist eine Zusammenfassung von elf Datenbanken des österreichischen Innenministeriums. Exekutivbeamte haben von rund 10.000 Rechnern Zugriff auf rund 85 Millionen Datensätze, wie die zentrale Wählerevidenz, das Waffenregister und Anonymverfügungen (vgl. Wikipedia, 2006a).

System der Polizei zu leicht störbar und abhörbar und somit für den militärischen Einsatz nicht brauchbar. Conrad sei im Gegensatz dazu ein reines Funksystem, das nicht über Sendemasten, sondern von Gerät zu Gerät kommuniziert. Die Kosten derartiger Geräte, von denen 5.000 benötigt werden, betragen im Schnitt 20.000 Euro. In dieser Summe sind allerdings auch Komponenten wie Infrastruktur, Ersatzteile oder Schulungen enthalten (vgl. Die Presse, 2006).

Was das österreichische TETRA-Netz betrifft, so konnten leider keine aktuellen Informationen zum gegenwärtigen Status des Projekts Digitalfunk BOS Austria in Erfahrung gebracht werden. Auf die schriftliche Anfrage an das Ministerium für Inneres antwortete der zuständige Abteilungsleiter: „... es ist uns leider nicht möglich, Ihnen die in Ihrer email angeführten Informationen zum Projekt über den auf der Homepage dargestellten Umfang hinaus zu geben ...“ (Ing. Peter Skorsch, GenMjr). Auch zweimalige Anfragen an die TETRON Sicherheitsnetz Errichtungs- und BetriebsgmbH hatten leider keine brauchbaren Informationen zur Folge. Informelle, private Gespräche mit Angehörigen von dem Innenministerium unterstellten Organisationen brachten ebenfalls die Erkenntnis, dass sich Aussagen und Auskünfte von BMI-Mitarbeitern ausschließlich auf Inhalte beschränken müssen, welche auch auf der offiziellen Homepage zu finden sind.

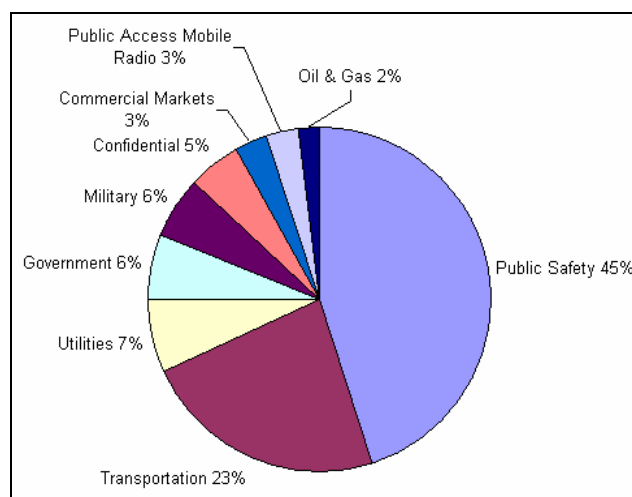
Private Gespräche mit Mitarbeitern von Rettungsorganisationen und Feuerwehren also potentiellen zukünftigen Nutzern, ließen den subjektiven Eindruck entstehen, dass die Teilnahme der betreffenden Organisationen am zukünftigen TETRA-Netz entweder intern schlecht bis gar nicht kommuniziert wird, oder erst in weit entfernter Zukunft stattfinden wird.

6 Ausblick

6.1 Der TETRA-Markt und seine zukünftige Entwicklung

Was die voraussichtliche Entwicklung von TETRA betrifft, ist es schwer, eine Prognose abzugeben. In den Neunzigern wurden Vermutungen geäußert, dass TETRA in Europa um das Jahr 2005 einen Marktanteil von zwei Millionen Geräten erreichen könnte, und für das Jahr 2010 erwartete die *TETRA MoU Association* zwischen fünf und zehn Millionen Benutzer (vgl. Ketterling, 1998). Diese Vorstellungen wurden klar übertroffen. Die jährliche Umfrage der TETRA MoU Association aus 2005 ergab, dass bereits 40% aller Nationen TETRA einsetzen. Es wurden über 788 signifikante TETRA-Infrastrukturen in 77 Ländern ausgewiesen, was einem Wachstum von 27% im Vergleich zu 2004 entspricht. Es handelt sich um das dritte Jahr in Folge, in dem ein zweistelliger Zuwachs festgestellt werden konnte. TETRA stellt einerseits einen de facto Standard im Bereich der öffentlichen Sicherheit dar, andererseits werden auch weitere Marktsektoren wie zum Beispiel das Transportwesen erobert. Die Sektoren öffentliche Sicherheit und Transport stellen die beiden größten Nutzergruppen dar und repräsentieren zwei Drittel des globalen Marktes (siehe Abbildung 16, vgl. TETRA MoU Association, 2006a).

Abbildung 16: Der TETRA-Markt nach Benutzergruppen 2005

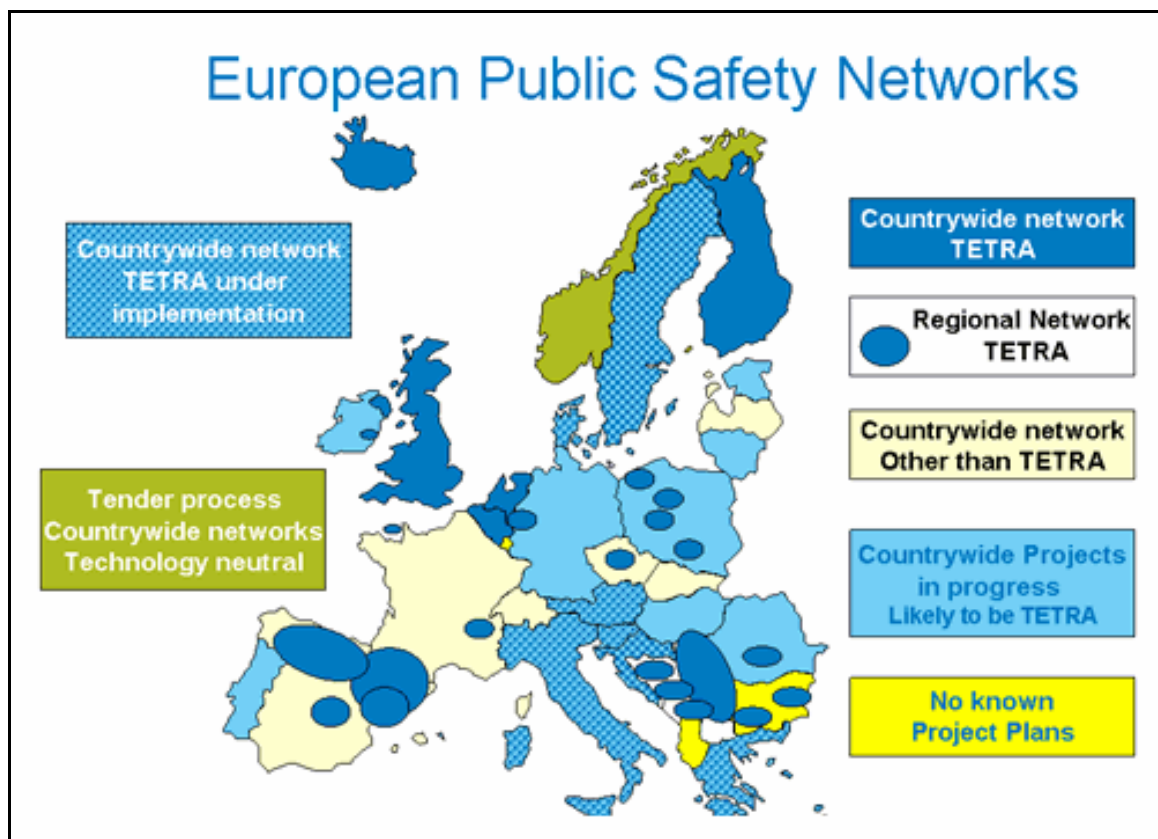


Quelle: TETRA MoU Association, 2006b

Betrachtet man konkret den Bereich *Public Safety* auf einer Landkarte, so lässt sich mittlerweile eine starke Verbreitung der grenzüberschreitenden

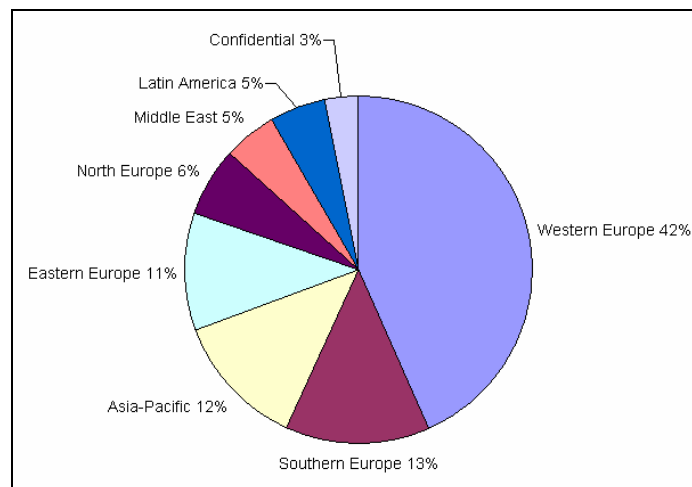
Kommunikation im Sinne des Schengener Abkommens zur Wahrung der öffentlichen Sicherheit feststellen. In fast allen europäischen Staaten wurde TETRA im Frequenzband 380 bis 400 MHz eingeführt. Deutschland als einwohnerreichster Staat befindet sich wie beschrieben gerade im Entscheidungsprozess zur Realisierung eines neuen bundesweiten Funknetzes und hat ebenfalls den TETRA Standard oder eine kompatible Technologie als Basis der zukünftigen Lösung bestimmt (siehe Abbildung 17, vgl. TETRA MoU Association, 2006b).

Abbildung 17: Funknetze zur Wahrung der öffentlichen Sicherheit in Europa



Quelle: TETRA MoU Association, 2006b

Das regionale Wachstum erstreckt sich mittlerweile über den gesamten Globus. Ausgangspunkt dieses Prozesses ist Europa, das nach wie vor die meisten Installationen von TETRA-Netzen aufweist. Was Zuwächse außerhalb Europas betrifft, so sind diese am höchsten in Afrika und dem mittleren Osten (siehe Abbildung 18, vgl. TETRA MoU Association, 2006b).

Abbildung 18: Der TETRA-Markt nach Regionen 2005

Quelle: TETRA MoU Association, 2006

6.2 Zusätzliche Funktionen von TETRA-Netzen

Bei der ETSI wird bereits am TETRA Release 2 gearbeitet. Dieses Release stellt eine Weiterentwicklung dar, die auf die derzeit gültigen Standards aufsetzt. Damit ist die volle Rückwärtskompatibilität gewährleistet, wodurch getätigte Investitionen geschützt werden sollen. TETRA Release 2 soll vor allem höhere Geschwindigkeiten der Datenübertragung ermöglichen, aber auch neue Möglichkeiten zur zukünftigen Zusammenschaltung von TETRA- und anderen 3G- (Third Generation) Netzwerken bieten. Weitere Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung einer TETRA-SIM Karte und die Möglichkeit des Roamings¹¹ zwischen TETRA und anderen Netzen zur mobilen Kommunikation wie GSM und UMTS. Um noch höhere Datenraten bei der Datenübertragung zu erreichen, wird der PDO-Standard von TETRA durch die ETSI erweitert. Das neu entstehende System (*Digital Advance Wireless System, DAWS*) soll größere Bandbreiten und entsprechend höhere Datenraten (bis zu 155 MBit/s) sowie größtmögliche Mobilität bieten, die unter anderem mobilen Internetzugang sowie verschiedene Multimedia-Anwendungen ermöglichen soll (vgl. ETSI, 2006).

Die Eigenschaften des digitalen TETRA-Netzes liefern auch für eine Vielzahl von neuen Anwendungen im Bereich der Biometrie ideale Voraussetzungen. So ist

¹¹ „Roaming bezeichnet die Nutzung eines Kommunikationsendgerätes oder auch nur die Nutzung der Teilnehmeridentität in einem anderen Netzwerk (visited network) als dem Heimatnetzwerk (home network). Hierzu ist erforderlich, dass die Betreiber der beiden Netzwerke ein Roaming-Abkommen getroffen haben sowie die erforderlichen Signalisierungs- und Datenverbindungen zwischen ihren Netzen geschaltet haben.“ (Wikipedia, 2006c)

zum Beispiel vorstellbar, dass das Netz auch zur Übermittlung des physischen Zustands (Atmung, Herzfrequenz etc.) der Einsatzkräfte durch integrierte Impulsmesser im Schutzanzug genutzt wird. Motorola zeigte auf der diesjährigen CEBIT¹² ebenfalls Biometrie-Lösungen im Bereich Identitätsmanagement, Sicherheit bei der Personalisierung von Registrierungen und Reisepässen, Identitätsnachweisen an Grenzkontrollen sowie mobilen AFIS (*automatisches Fingerabdruck-Identifizierungssystem*) und Zugangskontrollen. Am Messestand wurden multimodale Lösungen demonstriert, die Fingerabdrücke mit 2D- und 3D-Gesichtserkennung kombinieren und eine Übertragung der Ergebnisse über TETRA ermöglichen (vgl. Telekom-Presse, 2006).

Funktionserweiterungen des Behördenfunksystems TETRA ergeben sich auch im Bereich *Geografischer Informationssysteme* (GIS). So soll zum Beispiel die Lokalisierung von Einsatzteams oder konkreten Zwischenfällen ermöglicht werden. Die Terminals werden zu diesem Zweck mit elektronischen Landkarten ausgestattet, auf denen der Operator die Lokalisierung durchführen kann. Teams, die mit einem so genannten AVL-Modul (*Automatic Vehicle Location*) arbeiten, können die Lokalisierung auch dynamisch und in Echtzeit verfolgen. Die anderen Einsatzkräfte erhalten entweder eine geografische Übersicht ihrer Basis oder ihrer zuletzt registrierten Position (zum Beispiel ihres letzten Einsatzortes). Auf den elektronischen Landkarten können auch weitere, für den Einsatz entscheidende, Informationen vermerkt werden, so beispielsweise der Verlauf von Hochspannungsleitungen, die Position von Hydranten oder von bestimmten Gebäuden. Des Weiteren kann das System unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrssituation (Etwaige Verkehrsbehinderungen durch Baustellen, Straßensperrungen oder durch Wochenmärkte usw.) unterschiedliche Routen berechnen und je nach Auswahlkriterien die kürzeste, die schnellste, die geradlinigste oder die sicherste vorschlagen (vgl. Astrid, 2005).

6.3 Ein alternatives Anwendungsgebiet des TETRA-Standards

Ein breites Anwendungsgebiet mit zukünftigem Wachstumspotential stellt der Bereich PMR (*Private Mobile Radio* oder *Professional Mobile Radio*) bzw. DPMR (*Digital Professional Mobile Radio*) dar. Neben Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben verfügen auch öffentliche Energieversorgungsunternehmen, Kraft- und Wasserwerke sowie öffentliche Verkehrsbetriebe und Bahnen über große eigene Netze. Netze sehr verschiedener Größe werden schließlich von unterschiedlichen Anwendern wie Flughafenbetreibern, Taxi- und

12 „Die CeBIT ist die weltweit größte Messe für Informationstechnik und findet seit 1986 jedes Jahr im Frühjahr auf dem größten Messegelände der Welt in Hannover statt. Der Begriff CeBIT ist ein Akronym für Centrum der Büro- und Informationstechnik. Veranstalter der CeBit ist die Deutsche Messe AG.“ (Wikipedia, 2006e)

Bauunternehmen und vielen anderen unterhalten. Sehr spezielle Anforderungen dieser verschiedenen Nutzergruppen werden zu unterschiedlichen Netzstrukturen von einfachen lokalen bis hin zu sehr komplexen überregionalen Netzen mit unterschiedlichen Leistungsmerkmalen führen (vgl. Ketterling, 1998, S.2).

TETRA hat durchaus das Potential, den gesamten PMR-Sektor zu erneuern, beispielsweise durch die Produktion großer Stückzahlen an Systemkomponenten für den harmonisierten europäischen Markt. Diese Chance ist für die europäische Industrie und ihre Kunden von sehr großer Bedeutung. Die Alternative wäre eine Marktzersplittung infolge der Einführung zahlreicher Firmenstandards, doch diese Entwicklung würde dem europäischen PMR-Markt eher schaden als nutzen. Daher halten sich fast alle DPMR-Hersteller mit der Vermarktung von proprietären Systemen sehr zurück, um die reibungslose Einführung von TETRA als europäischem DPMR-Standard nicht zu gefährden. TETRA kann somit als europäischer Weg zu einer harmonisierten digitalen PMR-Welt gesehen werden. Schließlich wird TETRA bei einem Erfolg in Europa auch eine wichtige Rolle auf dem Weltmarkt spielen. In diese Richtung laufen auch die Bestrebungen der TETRA MoU Association. Für 2006 ist ein Kommunikationsprogramm geplant, welches eine weltweite Serie an Seminaren, Workshops und Messen vorsieht. Interessenten und Anwender in Asien, Europa, dem mittleren Osten und Südamerika sollen dabei verstärkt angesprochen werden (vgl. TETRA MoU Association, 2006c).

Abkürzungsverzeichnis

AACH	Access Assignment Channel.
ADONIS.....	Austrian Digital Operation Network for Integrated Services.
AES.....	Advanced Encryption Standard.
AFIS.....	Automatisches Fingerabdruck-Identifizierungssystem.
AL.....	Ambience Listening.
AoC.....	Advice of Charge.
API	Application Programming Interface.
AS	Area Selection.
ASCI	Advanced Speech Call Items.
AuC	Authentication Centre.
AVL.....	Automatic Vehicle Location.
BCCH	Broadcast Control Channel.
BGS	Bundesgrenzschutz.
BIC	Barring of Incoming Call.
BMF	Bundesministerium für Finanzen.
BMI.....	Bundesministerium für Inneres.
BMJ	Bundesministerium für Justiz.
BMLV	Bundesministerium für Landesverteidigung.
BMVIT.....	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
BOC	Barring of Outgoing Call.
BoD	Bandwith on Demand.
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben.
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik.
CAD	Call Authorization by Dispatcher.
CBS.....	Cell Broadcast Service.
CCH	Control Channel.
CDMA.....	Code Division Multiple Access.
CeBIT	Centrum der Büro- und Informationstechnik
CEPT.....	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications.
CLIP.....	Calling Line Identification.
CLIR	Calling Line Identification Restriction.
CLNS.....	Connectionless Network Service.
CoD	Capacity on Demand.
COLP.....	Connected Line Identification.

CONS	Connection Oriented Network Service.
CP	Control Physical Channel.
CR	Call Report.
CW	Call Waiting.
DAWS	Digital Advance Wireless System.
DCK	Derived Cipher Key.
DM.....	Direct Mode.
DM-MS	Direct Mode Mobile Station.
DMCC.....	Direct Mode Call Control.
DMO	Direct Mode Operations.
DPMR.....	Digital Professional Mobile Radio.
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company.
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution.
EKIS	Elektronisches kriminalpolizeiliches Informationssystem.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute.
FDD	Frequency Division Duplex.
FDMA.....	Frequency Division Multiple Access.
GIS	Geografische Informationssysteme.
GMSK.....	Gaussian Minimum Shift Keying.
GPRS	General Packet Radio Service.
GSM.....	Global System for Mobile Communications.
GSM-R.....	GSM-Railway.
HDB.....	Home Data Base.
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data.
IDEA.....	International Data Encryption Algorithm.
IMEI	International Mobile Equipment Identity.
ISDN.....	Integrated Services Digital Network.
ISI	Inter System Interface.
ISO	International Organization for Standardization.
ITO.....	Informatie en Communicatie Technologie Organisatie.
ITU	International Telecommunication Union.
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector.
KHz.....	Kilohertz.
LCH	Linearisation Channel.
LE.....	Late Entry.
LEBIG	Leitstellen- Entwicklungs-, Betriebs- und Integrations- Ges.m.b.H.
LSC.....	List Search Call.

MDTRS.....	Mobile Digital Trunked Radio System.
MHz	Megahertz.
MNI	Mobile Network Identity.
MoU.....	Memmorandum of Understanding.
MT.....	Mobile Termination.
NMC.....	Network Management Centre.
NSAP	Network Layer Service Access Point Adresses.
NT	Network Termination.
OSI	Open Systems Interconnection.
ÖFWV	Österreichischen Feuerwehrverband.
PBX.....	Private Branch Exchange.
PDA	Personal Digital Assistant
PDO	Packet Data Optimized.
PITO.....	Police Information and Telecommunication Organisation.
PMR.....	Private Mobile Radio oder Professional Mobile Radio.
POCSAG	Post Office Code Standard Advisory Group.
PSRCP.....	Public Safety Radio Communications Project.
PSTN.....	Public Switched Telephone Network.
SCH	Signalling Channel.
SCK.....	Static CIPHER Key.
SDMA.....	Space Division Multipel Access.
SDS	Short Data Service.
SDÜ	Schengener Durchführungsübereinkommen.
SFPG.....	Security and Fraud Prevention Group.
SIM.....	Subscriber Identity Module.
SIS	Schengener Informationssystem.
SMS	Short Message Service.
SMS-C.....	Short Message Service Centre.
SNA	Short Number Addressing.
SSI	Short Subscriber Identity.
STCH	Stealing Channel.
SwMI	Switching & Management Infrastructure.
TBS.....	TETRA Basestation.
TC	Transfer of Control.
TCH	Traffic Channel.
TDD.....	Time Division Duplex.
TDMA.....	Time Division Multiple Access.
TE.....	Terminal Equipment.

TEI	TETRA Equipment Identity.
TETRA.....	Terrestrial Trunked Radio.
THW	Technisches Hilfswerk.
TMI.....	TETRA Management Identity.
TP.....	Traffic Physical Channel.
TS.....	Time Slot.
TSI	TETRA Subscriber Identity.
UKW	Ultrakurzwelle.
UMTS.....	Universal Mobile Telecommunications System.
UP	Unallocated Physical Channel.
V+D.....	Voice plus Data.
VBS.....	Voice Broadcast Service.
VDB	Visited Data Base.

Quellenverzeichnis

- AEG-Telefunken (1974): Funksysteme für Sicherheitsbehörden. Berlin: Elitera-Verlag.
- Airwave O2 Limited (o.J.): O2 Airwave service; Communication where and when it matters most. Verfügbar von: <http://www.airwaveservice.co.uk/>, Abfragedatum: 10. April 2006.
- Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (2000): Erstmalige Gesamtveröffentlichung des Schengen-Besitzstands. Verfügbar von: http://europa.eu.int/eur-lex/pri/de/oj/dat/2000/l_239/l_23920000922de00010473.pdf, Abfragedatum: 02. April 2006.
- Astrid (2005): Kommunikation für Sicherheit. Verfügbar von: <http://www.astrid.be/index.htm>, Abfragedatum: 30. März 2006.
- Bakom (2001): Schweizer Bundesamt für Kommunikation, Faktenblatt Tetrapol. Verfügbar von: <http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/extern/tetrapol.pdf>, Abfragedatum: 05. April 2006.
- Barrionuevo, L. (2002): GSM, UMTS und TETRA: Drei Mobilfunktechnologien im Vergleich. Technische Universität Wien: Diplomarbeit.
- BMI (2006): Bundesministerium für Inneres: Digitalfunk BOS Austria. Verfügbar von: <http://www.projekt-digitalfunk.at>, Abfragedatum: 21. Februar 2006.
- Die Presse (2006): Bundesheer: 100 Millionen Euro für Funksystem. Ausgabe vom 03. März 2006, S.21.
- Dunlop, J., Girma, D. und Irvine, J. (2000): Digital Mobile Communications and the TETRA System. Chichester: Wiley & Sohns Ltd.
- ETSI (2006): Welcome to ETSI, the home of ICT standardization. Verfügbar von: <http://www.etsi.org>, Abfragedatum: 15. März 2006.
- GSM World (2006): GSM subscriber statistics. Verfügbar von: <http://www.gsmworld.com/news/statistics/index.shtml>, Abfragedatum: 09. April 2006.
- Hainbuchner, C. (2005): Technology acceptance of complex products and systems; The case of Terrestrial Trunked Radio (TETRA). Wirtschaftsuniversität Wien: Dissertation.

- Heise mobil (2005): Luftfahrtkonzern EADS darf Nokia-Tochter kaufen. Verfügbar von: <http://www.heise.de/mobil/newsticker/meldung/62250/>, Abfragedatum: 10. April 2006.
- Heise online (2004): Tetra-Netzwerk in den Niederlanden offiziell gestartet. Verfügbar von: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/50818/>, Abfragedatum: 04. April 2006.
- Heise online (2006): Digitaler Behördenfunk: EADS als einziger Anbieter bei Ausschreibung weiter. Verfügbar von: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/71438/>, Abfragedatum: 10. April 2006.
- International Engineering Consortium (2005a): Frequency Division Multiple Access (FDMA). Verfügbar von: <http://www.iec.org/online/tutorials/tdma/topic01.html>, Abfragedatum: 17. März 2006.
- International Engineering Consortium (2005b): Time Division Multiple Access (TDMA). Verfügbar von: <http://www.iec.org/online/tutorials/tdma/topic02.html>, Abfragedatum: 17. März 2006.
- ITWissen (2006): BoD (bandwidth on demand). Verfügbar von: http://www.itwissen.info/definition/lexikon/tk-dienste/bod_bandwidth%20on%20demand_bandbreite%20auf%20anforderung.html, Abfragedatum: 09. April 2006.
- Ketterling, H.-P. (1998): Wege zum digitalen Betriebsfunk: Vorteile digitaler Übertragungsverfahren einschließlich TETRA für den modernen Betriebsfunk (PMR). Renningen-Malmsheim: Expert-Verlag.
- LEBIG (o.J.): Leitstellen - Entwicklungs-, Betriebs- und Integrations- Ges.m.b.H.. Verfügbar von: <http://www.lebig.at/>, Abfragedatum: 30. März 2006.
- Motorola (2005a): C2000 – Digitalfunkprojekt für alle Sicherheitsorgane in den Niederlanden. Verfügbar von: http://www.motorola.com/governmentandenterprise/de/de-de/public/functions/browsesolution/Browsesolution.aspx?navigationpath=id_802i/id_2338i/SSONE2, Abfragedatum: 04. April 2006.
- Motorola (2005b): O2 Airwave, Großbritannien; Weltweit größtes TETRA Netz für Sicherheitsbehörden. Verfügbar von: http://www.motorola.com/governmentandenterprise/de/de-de/public/functions/browsesolution/Browsesolution.aspx?navigationpath=id_802i/id_2338i/SSONE1, Abfragedatum: 10. April 2006.

- NET (2003): PMR – Professional Mobile Radio; Mit Tetra bessere Einsatzbedingungen in Gorleben. Verfügbar von: http://www.net-im-web.de/pdf/2003_tetra.pdf, Abfragedatum: 07. April 2006.
- Österreichischer Bundesfeuerwehrverband (2004): Feuerwehr-Alarmierung. Verfügbar von: http://www.bundesfeuerwehrverband.at/oebfv/index.php?id=66&backPID=66&encryptionKey=&tt_news=20&cHash=f7d6f50e3e, Abfragedatum: 10. April 2006.
- Österreichischer Rechnungshof (2004): Wahrnehmungsbericht des Rechnungshofes: Behördenfunknetz ADONIS, land- und forstwirtschaftliche Schulen, Rheuma-Sonderkrankenanstalten, Zuerkennung von Stipendien, Landeskrankenhaus-Universitätsklinikum Graz: Projekt LKH 2000, gerichtliche Medizin, ASFINAG: Ausschreibung und Auftragsvergabe des Projekts vollelektronische LKW-Maut. Wien: Rechnungshofbericht.
- Pagernetz (o.J.): pagernetz als Division of LEBIG. Verfügbar von <http://www.pagernetz.at/>, Abfragedatum: 30. März 2006.
- Professioneller Mobilfunk e.V. (o.J.): Einsatzbarkeit öffentlicher Mobiltelefonnetze für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS). Verfügbar von http://www.pmev.de/download/pmev_positionspapier_zu_gsm_1-1.pdf, Abfragedatum: 03. April 2006.
- Projektgruppe Digitalfunk (2003): Sachstandsbericht. Verfügbar von: <http://www.pilotprojekt-digitalfunk-aachen.de/Abschluss.pdf>, Abfragedatum: 07. April 2006.
- Projektgruppe Digitalfunk (2006): Österreich ist voll im Zeitplan. Verfügbar von: http://www.pilotprojekt-digitalfunk-aachen.de/seite_presse_54.htm, Abfragedatum: 10. April 2006.
- Rohde & Schwarz (2006): TETRA und der digitale Behördenfunk. Verfügbar von: http://www.akinfo.de/image/BOS_Digitalfunk.pdf, Abfragedatum: 07. April 2006.
- Source O2 (o.J.): Developer information. Verfügbar von: <http://www.sourceo2.com/developers.html>, Abfragedatum: 10. April 2006.
- TeleCommunication (1999): TETRA baut seine Basis aus. Verfügbar von: <http://www.adaxas.net/tkhf/pdf/2002-03/Tetra.pdf>, Abfragedatum: 07. April 2006.

- Telekom-Presse (2006): Nahtlose Mobilität in Business und Alltag. Verfügbar von http://www.telekom-presse.at/channel_itbusiness/specials_cebit2006_227_97.html, Abfragedatum: 30. März 2006.
- Tervonen, J. (1998): Einführung in TETRA. Abteilung für Informationstechnologie, Technische Hochschule Helsinki. Übersetzung aus dem Finnischen. Verfügbar von: <http://www.intellectics.com/tetra.html>, Abfragedatum: 21. Februar 2006.
- TETRA MoU Association (2006a): The TETRA Association. Verfügbar von: <http://www.tetramou.com/tetramou.aspx?id=45>, Abfragedatum: 09. März 2006.
- TETRA MoU Association, (2006b): Growth in all sectors as TETRA reaches further round the world during 2005. Verfügbar von: <http://www.tetramou.com/tetramou.aspx?id=2546>, Abfragedatum: 09. März 2006.
- TETRA MoU Association, (2006c): TETRA Association launches major communications programme for 2006. Verfügbar von: <http://www.tetramou.com/tetramou.aspx?id=2544>, Abfragedatum: 09. März 2006.
- TETRA MoU Association, (2006d): TETRA Security. Verfügbar von: http://www.tetramou.com/uploadedFiles/About_TETRA/TETRA%20Security%20pdf.pdf, Abfragedatum: 30. März 2006.
- Tetranetz (o.J.): tetranetz in cooperation with LEBIG. Verfügbar von <http://www.tetranetz.at/>, Abfragedatum: 30. März 2006.
- Tetron (2005): TETRON Sicherheitsnetz Errichtungs- und BetriebsgmbH. Verfügbar von: <http://www.tetron.at/>, Abfragedatum: 23. Februar 2006.
- Three Country Pilot (2003a): Memorandum of Understanding. Verfügbar von: http://www.3countrypilot.com/MoU_030120.pdf, Abfragedatum: 02. April 2006.
- Three Country Pilot (2003b): Final Report. Verfügbar von: http://www.3countrypilot.com/f_r/1_Final%20Report.pdf, Abfragedatum: 02. April 2006.
- T-Systems (o.J.): TETRA in Europa; Ein Blick über den Zaun. Verfügbar von: <http://www.t-systems-tetrabos.de/coremedia/generator/www.t-systems-tetrabos.de/de/Home/TETRABOS/TETRAinEuropa/id=60350.html>, Abfragedatum: 07. April 2006.

- Universität Linz (2004): NetTetra1Technical. Verfügbar von: <http://140.78.95.100/wiki/tiki-index.php?page=NetTetra1Technical>, Abfragedatum: 29. März 2006.
- Vodafone (2006): Handout zum Praxisnachweis GSM-BOS. Verfügbar von: http://www.vodafone.de/downloadarea/handout_gsm_bos_praxisnachweis.pdf, Abfragedatum: 03. April 2006.
- Walke, B. (2000a): Mobilfunknetze und ihre Protokolle - Band 1. Grundlagen, GSM, UMTS und andere zellulare Mobilfunknetze. Stuttgart: B. G. Teubner.
- Walke, B. (2000b): Mobilfunknetze und ihre Protokolle – Band 2. Bündelfunk, schnurlose Telefonsysteme, W-ATM, HIPERLAN, Satellitenfunk, UPT. Stuttgart: B. G. Teubner.
- Wikipedia (2006a): EKIS. Verfügbar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/EKIS>, Abfragedatum: 21. Februar 2006.
- Wikipedia (2006b): X.25. Verfügbar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/X.25>, Abfragedatum: 24. Februar 2006.
- Wikipedia (2006c): Roaming. Verfügbar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Roaming>, Abfragedatum: 07. März 2006.
- Wikipedia (2006d): POCSAG. Verfügbar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Pocsag>, Abfragedatum: 30. März 2006.
- Wikipedia (2006e): CeBIT. Verfügbar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Cebit>, Abfragedatum: 30. März 2006.
- Wölfle, R. D. (2005): Elektrosmoginfo. Verfügbar von: <http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/index.htm>, Abfragedatum: 04. April 2006.