

Seminar Verkehrsinformatik  
SS 2006

# **Kommunikationssysteme im ÖPNV**

Christoph Schreiber – ii5947

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

1. Kommunikationssysteme im ÖPNV – Stand der Dinge
2. Öffentlicher Funk vs. Nicht öffentlicher Funk
3. Analoger Funk vs. Digitaler Funk
4. TETRA – TETRAPOL – u.a.
  - a. Modulationsarten
  - b. FDMA vs. TDMA
  - c. Was ist Bündelfunk?
  - d. Was ist TETRA?
  - e. Ein Vergleich zu TETRAPOL
  - f. Andere Systeme am Markt
  - g. Nicht öffentlicher Mobilfunk in Deutschland
5. Beispiele digitaler Kommunikationssysteme im ÖPNV
  - a. RBL Berliner Verkehrsbetriebe
  - b. RegioRBL Verkehrsverbund Oberelbe
6. Fazit und Ausblick

Anhang:

Verzeichnis der Abkürzungen

Literaturverzeichnis

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 1. Kommunikationssysteme im ÖPNV – Stand der Dinge

Die Kommunikationssysteme im ÖPNV sind in einer weitgehend digitalen Welt immer noch ein Bereich, in dem die Analogtechnik vorherrschend ist. Im Gegensatz zum öffentlichen Mobilfunk, wo schon seit längerer Zeit die digitalen Netze zum Standard geworden sind, steht der nicht öffentliche Betriebs- und Bündelfunk erst am Anfang dieser Entwicklung. Erst seit wenigen Jahren und sehr langsam vollzieht sich der Übergang zu digitalen Systemen.

Für diesen Zustand gibt es folgende Gründe:

- Noch in den 90er Jahren wurden von ÖPNV-Betrieben RBL in Analogtechnik erworben → Bindung durch Fördermittel.
- Für den Aufbau eines digitalen Systems sind hohe Investitionen erforderlich.
- Für die Nutzung von öffentlichem Mobilfunk fehlten lange Zeit geeignete Datendienste.
- Die Umstellung ist schwierig, da die Migration im laufenden Betrieb erfolgen muss

Um die Attraktivität und die Wirtschaftlichkeit des ÖPNV zu steigern sind digitale Kommunikationssysteme eine Basis auf der sich weitere Funktionen, wie z.B. das E-Ticketing, die automatische Anschlussicherung oder dynamische Fahrgastinformationen realisieren lassen können. Die Vernetzung dieser Systeme bringt allerdings auch eine Reihe von Problemen mit sich.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 2. Öffentlicher Funk vs. Nicht-Öffentlicher Funk

Mobilfunk ist die Sammelbezeichnung für den Betrieb von beweglichen Funkgeräten. Er wird in einen öffentlichen und einen nicht öffentlichen Teil unterteilt. Der öffentliche Mobilfunk ist im Gegensatz zum nicht öffentlichen Mobilfunk für jedermann zugänglich.

### Übersicht über Mobilkommunikation:

#### Öffentlicher Mobilfunk:

- GSM-Netze
- UMTS
- W-LAN
- CT, DECT

#### Nicht Öffentlicher Mobilfunk:

- Betriebsfunk
- Bündelfunk
- TETRA/TETRAPOL
- CB-Funk
- Amateurfunk
- (Chekker, Birdie)

#### Satellitensysteme:

- GPS
- Inmarsat
- Galileo
- (Iridium)

#### Broadcastsysteme:

- RDS
- TMC
- DVB
- DAB

#### Nahbereichsverbindungen:

- Infrarot
- Bluetooth

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 2. Öffentlicher Funk vs. Nicht-Öffentlicher Funk

### Kenndaten:

Übertragungsstandard	Modulationsart	Kanalzugriff	Trägerfrequenz	Bandbreite	Übertragungsrate
GSM	GMSK(FSK)	FDMA + TDMA	900/1800 MHz	200kHz	9,6kBit/s HSCSD <115,2kBit/s GPRS <171,2kBit/s EDGE <384kBit/s
UMTS	QPSK (HSDPA=16QAM)	W-CDMA mit TDD oder FDD	1,9-2,2 GHz	5MHz	<2MBit/s <384kBit/s
TETRA	DQPSK QAM	TDMA	385-390 (395-400) MHz 410-430 MHz 450-470 MHz 870-876(915-921 MHz)	<25kHz <150kHz	<28,8kbit/s <538kbit/s
TETRAPOL	GMSK	FDMA	385-390 (395-400) MHz 410-430 MHz 450-470 MHz	10 (12,5) kHz	<7,6kbit/s
DVB-T	QPSK/QAM	COFDM	174..230 MHz 470..790 MHz 814..838 MHz	8MHz	12-20MBit/s
Bluetooth	GMSK mit FHSS (DQPSK)	TDMA	2,402 – 2,48 GHz	1MHz pro Kanal (max. 79)	723,2kbit/s (<2,1MBit/s)

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 3. Analoger Funk vs. Digitaler Funk

Grundsätzlich gibt es die gleichen Ansprüche an ein digitales, wie auch an ein analoges Kommunikationssystem.

Diese Ansprüche sind:

- Übertragungsqualität
- Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit
- Reichweite
- Geschwindigkeit
- Übertragungskapazität
- Integrität
- Preis

Es ist unmöglich alle Kriterien gleichzeitig maximal gut zu erfüllen. Daher werden bestimmte Prioritäten festgelegt, welche die Ansprüche bewerten und eine Reihenfolge festlegen. Aufgrund dieser Auswahl wird ein optimales Übertragungssystem dimensioniert.

Die Ansprüche beeinflussen sich auch gegenseitig, so dass eine Verbesserung des einen zu einer Verschlechterung des anderen führt. Hierbei hängen z.B. Übertragungskapazität, Übertragungsgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit direkt von einander ab.

Der große Vorzug von digitaler Signalübertragung ist, dass im Gegensatz zur analogen Signalübertragung nicht jede Signalverfälschung zu einer Informationsverfälschung führt.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 4. TETRA – TETRAPOL – und andere

### a. Modulationsarten

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Modulationsarten.

- Amplitudenmodulation (Amplitude Shift Keying)
- Frequenzmodulation (Frequency Shift Keying)
- Phasenmodulation (Phase Shift Keying)

Auch die Mischform aus Amplituden- und Phasenmodulation ist sehr gebräuchlich. (z.B. QAM).

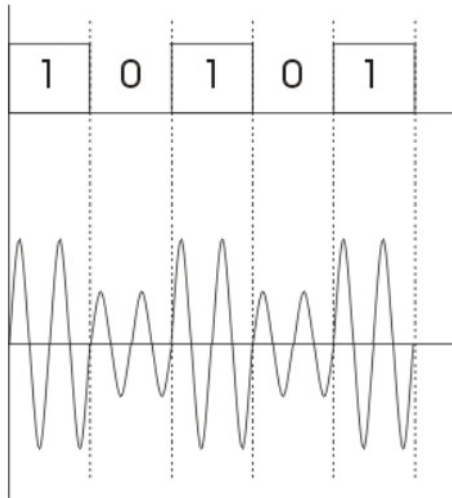
Die digitale Modulation ist ein Spezialfall der analogen Modulation und geht aus dieser hervor. In der Praxis werden als Träger entweder pulsformige oder harmonische Träger verwendet. Wird als Kanalzugriffsverfahren ein Zeitmultiplexverfahren verwendet, so wird ein pulsformiger Träger verwendet, da dieser auf der Zeitachse relativ scharf begrenzt ist. Im Gegensatz dazu wird bei Frequenzmultiplexverfahren ein harmonischer Träger verwendet, der auf der Frequenzachse relativ scharf begrenzt ist.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

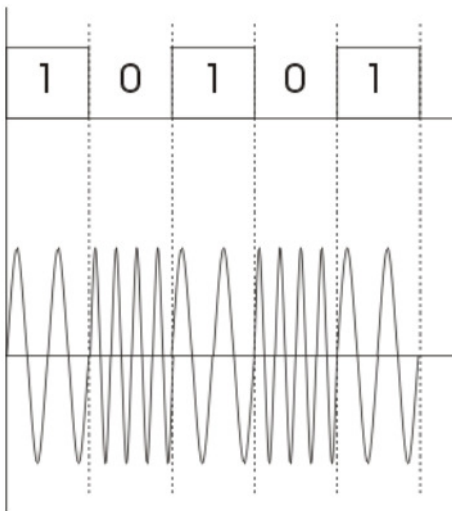
## 4. TETRA – TETRAPOL – und andere

### a. Modulationsarten

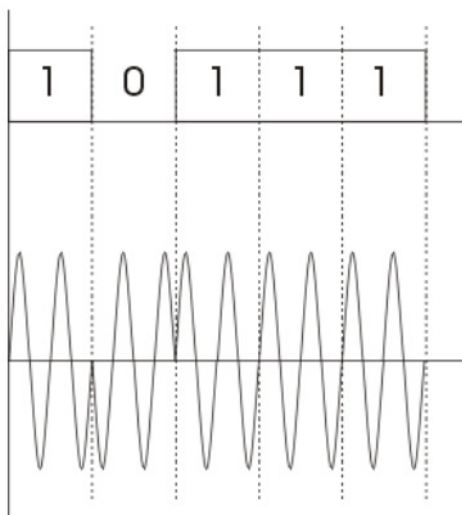
Amplitudenmodulation (Amplitude Shift Keying): mit Modulationsindex = 0,5



Frequenzmodulation (Frequency Shift Keying):



Phasenmodulation (Phase Shift Keying):





# Kommunikationssysteme im ÖPNV

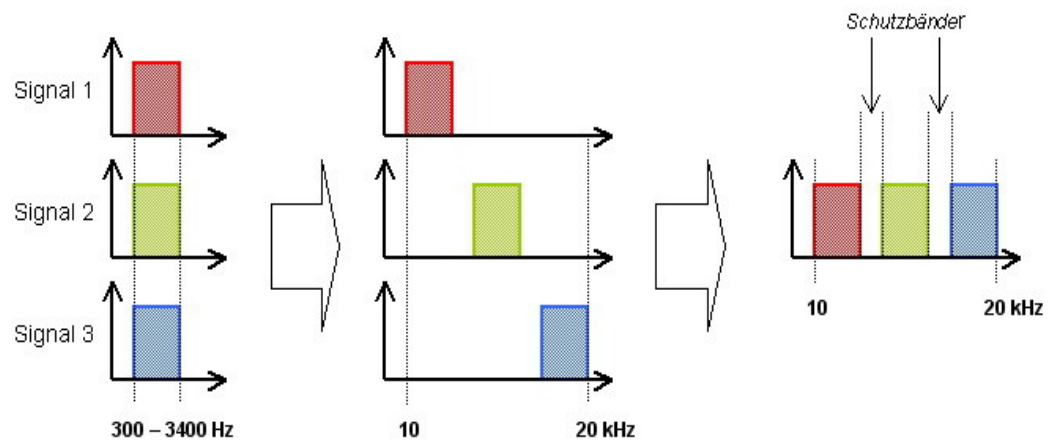
## 4. TETRA – TETRAPOL – und andere

### b. FDMA – TDMA Frequenzmultiplex – Zeitmultiplex

#### FDMA:

Beim Frequenz-Multiplex-Verfahren werden mehrere Signale auf unterschiedliche Frequenzen moduliert und parallel übertragen. Zwischen den einzelnen Frequenzen gibt es sog. Schutzbänder, die Interferenzen verhindern. Das bekannteste Beispiel hierfür ist wohl der Rundfunk. Hierbei werden alle Sender gleichzeitig ausgestrahlt und durch Filterung am Empfänger voneinander getrennt. Ähnlich funktioniert die Sprachübertragung beim Telefon.

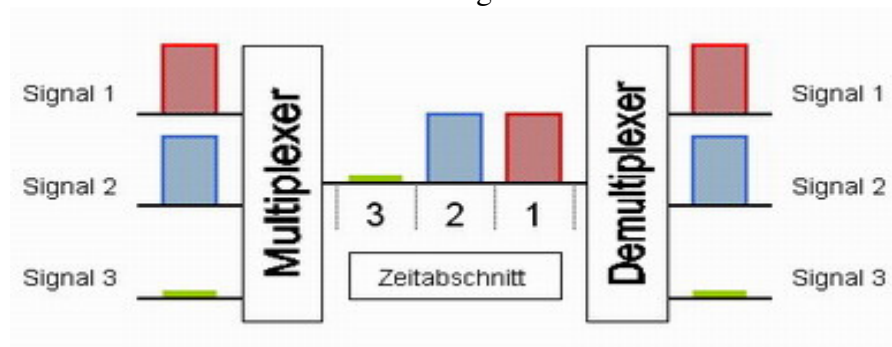
Bsp.: Sprachübertragung beim Telefon:



#### TDMA:

Beim Zeit-Multiplex-Verfahren werden in bestimmten Zeitabschnitten (Time-Slots) Daten verschiedener Sender auf einem Kanal übertragen. Man unterscheidet zwischen synchronem und asynchronem Zeit-Multiplex.

Beim synchronen Zeit-Multiplex wird jedem Sender ein fester Zeitabschnitt zur Datenübertragung auf dem Kanal zugeordnet. Dieses hat den Vorteil, dass jede Übertragung eine konstante Datenrate erhält und das Demultiplexing vereinfacht wird. Ein Nachteil entsteht dann, wenn ein Sender keine Daten aussendet und sein Zeitabschnitt ungenutzt bleibt.

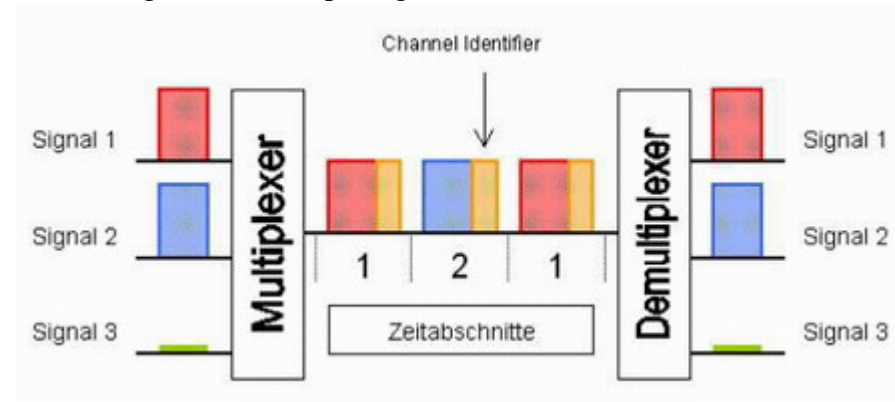


# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 4. TETRA – TETRAPOL – und andere

### b. FDMA – TDMA Frequenzmultiplex – Zeitmultiplex

Beim asynchronen Zeit-Multiplex hingegen werden nur Daten auf die Zeitschlitze verteilt, von Sendern(Kanälen), die auch Daten zur Übertragung bereitstellen. Dies bedeutet jedoch, dass zusätzliche Information zur Identifizierung der Sender(Kanälen) benötigt werden. Durch diese Bedarfsgerechte Zuweisung der Zeitabschnitte wird der Übertragungskanal optimal ausgelastet. Ein Nachteil ist der größere Aufwand beim Demultiplexer, sowie die größere Datenpaketgröße.



### c. Was ist Bündelfunk?

Bündelfunk ist eine verbesserte, technische Realisierung des Betriebsfunks. Die ersten analogen Systeme wurden in den 80er Jahren entwickelt. Bündelfunksysteme sind lizenzpflichtig, können aber in Eigenregie betrieben werden. Anwender sind geschlossene Benutzergruppen, wie z.B. Transportunternehmen, Flughäfen, Energieunternehmen, sowie Sicherheitsorgane. Ein Bündelfunksystem besteht aus mehreren Sprach- und Organisationskanälen, der Funkinfrastruktur und einem rechnergestützten Verbindungsmanagement.

Neuerungen gegenüber dem Betriebsfunk sind:

- Dynamische Zuweisung von Kommunikationskanälen
- Flexible Bildung von Nutzergruppen
- Einführung von Datenübertragung
- Verbindung ins Telefonnetz
- Gruppenruf

Bereits Anfang der 90er Jahre wurde von der ETSI ein Standard für digitalen, zellularen Bündelfunk entwickelt. Ein Vorschlag der ETSI (TETRA 25) wurde zum Standard TETRA fortentwickelt. Ein anderer Vorschlag der ETSI (TETRA 12) wurde von der Firma EADS(ehemals Matra, AEG) in Eigenregie zum Industriestandard TETRAPOL weitergeführt. Beide Standards vereinen die Vorteile des Bündelfunks mit denen eines digitalen Mobilfunks.

- Bessere Frequenzökonomie
- Bessere Übertragungsqualität von Sprache und Daten (u.a. IP-basiert)
- Höhere Abhörsicherheit
- Flexibleres Netz- und Verbindungsmanagement
- Handover, Roaming
- Gateways zu anderen Kommunikationsdiensten

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 4. TETRA – TETRAPOL – und andere

c. Was ist Bündelfunk?

### Vergleich Mobilfunk - Bündelfunk

<b>Mobilfunk</b>	<b>Bündelfunk</b>
Große Anzahl Teilnehmer	Kleine Anzahl Teilnehmer
Wechselnde Verbindungsteilnehmer	Häufig gleiche Verbindungsteilnehmer
Langer Verbindungsaufbau	Sehr kurzer Verbindungsaufbau
Kurze und lange Gespräche	Überwiegende kurze Gespräche
Tarifsystem Gewinn-maximierend	Tarifsystem kostenorientiert
Fix + Variable Kosten	Fixkosten
Bedarfsweckendes Angebot	Bedarfsdeckendes Angebot

### Auswahl an angebotenen Diensten im digitalen Bündelfunk:

<b>Teledienste</b>	<b>Trägerdienste(Datendienste)</b>	<b>Zusatzdienste</b>
Individual Call	Status Transmission	Discreet Listening
Group Call	Short Data Service	Ambience Listening
Direct Mode (Walkie-Talkie-Betrieb)	Leitungsvermittelter Datendienst (geschützt / ungeschützt)	Priority Call
Broadcast Call	Paketvermittelter Datendienst (verbindungslos / X.25 / TCP/IP)	Late Entry
Emergency Call		
Include Call		
Open Channel		

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

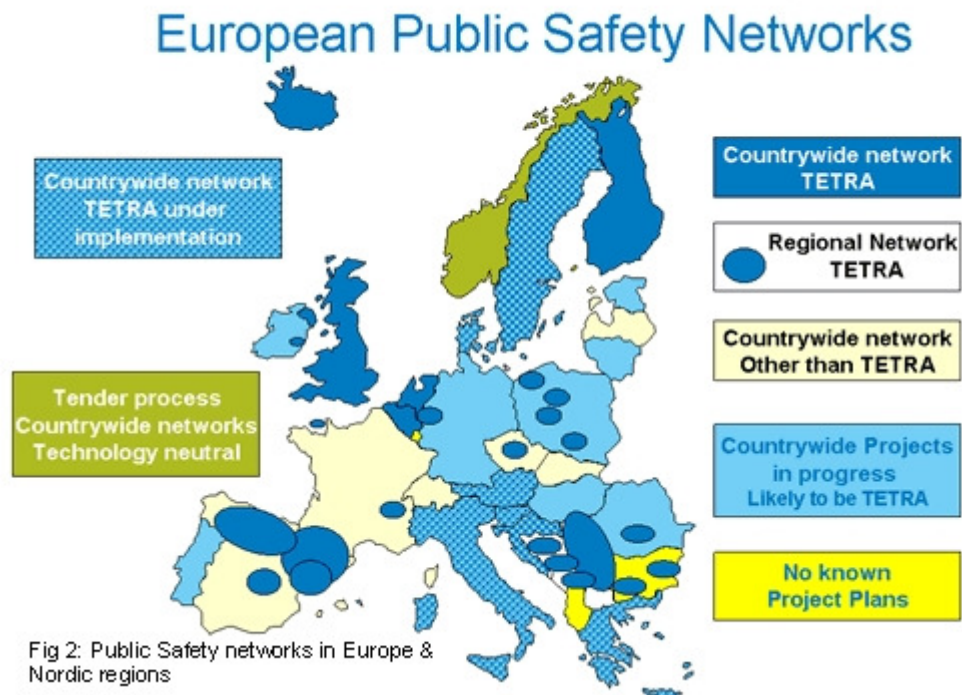
## 4. TETRA – TETRAPOL – und andere

### d. Was ist TETRA?

#### Überblick:

TETRA ist ein digitales, zelluläres Bündelfunksystem. Es ist ein modernes Funksystem für private und öffentliche Betriebs- und Sicherheitsfunktanwendungen. Der TETRA-Standard wurde seit 1989, durch Anregung von Telekommunikationsfirmen (u.a. Nokia, Motorola), von der ETSI erarbeitet und ist 1995 in einer ersten Version standardisiert worden. Zurzeit gibt es 788 Netze in 77 Ländern in der ganzen Welt (Stand 10/05), darunter auch 32 Netze in Deutschland.

In vielen europäischen Ländern, wie z.B. Großbritannien, Niederlande, Belgien, Finnland, Island ist TETRA der Standard für die öffentlichen Sicherheitsorgane. In Schweden, Dänemark, Österreich, Italien, Griechenland ist das TETRA-Netz im Aufbau. In Deutschland, Polen, Portugal, Ungarn und Irland ist noch keine Entscheidung gefallen. In Frankreich, Spanien, Schweiz, Tschechien und der Slowakei kommt ein TETRAPOL-Standard zum Einsatz.



In Europa gibt es derzeit ca. 6 Millionen Nutzer (Stand 04/01), von denen etwa 1,2 Millionen digitalen Bündelfunk einsetzen (geschätzt für 2003), wobei TETRA einen geschätzten Anteil von 80% haben wird.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 4. TETRA – TETRAPOL – und andere

### d. Was ist TETRA?

#### Technologie:

Das von TETRA benutzte Kanalzugriffsverfahren ist TDMA. Es liefert vier unabhängige Kanäle innerhalb eines 25kHz Funkkanals. Ein Kanal wird während einem Viertel der Zeit von einem Sender belegt. Wird eine größere Übertragungskapazität benötigt, kann ein einzelner Sender auch mehr als einen Zeitschlitz (bis zu vier) belegen. Eine gleichzeitige Übertragung von Sprache und Daten ist möglich. Der Zeitschlitz hat eine Dauer von 56,67ms.

Ähnlich wie bei GSM auch, werden bei TETRA zunächst Daten über einen Kontrollkanal zur Synchronisation des Endgerätes mit der Basisstation und zur Übertragung der Systemdaten des Netzes ausgetauscht. Die Sendeleistung der Endgeräte wird, ebenfalls ähnlich zu GSM, permanent über Kommandos von der Basisstation auf ein Minimum geregelt, um u.a. die Lebensdauer der Batterien im Endgerät zu erhöhen.

TETRA kann grundsätzlich auf Frequenzen unter 1GHz eingesetzt werden. In der Praxis werden speziell ausgewiesene Frequenzen benutzt.

In der ersten Version von TETRA betrug die maximale Übertragungsrate 28,8kbit/s bei einer Kanalbandbreite von 25kHz (alle vier Kanäle) mit DQPSK als Modulationsverfahren. Mittlerweile wurde (ab Release 2) ein erweiterter Datenservice eingerichtet, der Datenraten bis zu 538kbit/s bei 150kHz Bandbreite mittels 64-QAM als Modulationsverfahren erlaubt.

Wie bei den meisten Funksystemen, wird auch bei TETRA das Frequenzduplexverfahren angewendet. Das bedeutet, dass das Senden und Empfangen auf zwei verschiedenen Frequenzen stattfindet.

Der TETRA-Standard deckt drei unterschiedliche Anwendungsbereiche ab, für die jeweils eigene Endgeräte zur Verfügung stehen.

- |                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| - Voice + Data (V+D)          | ETSI 300 392 |
| - Packed Data Optimized (PDO) | ETSI 300 393 |
| - Direct Mode                 | ETSI 300 396 |

Geräte, die auf die V+D Spezifikation ausgelegt sind, sind sowohl für Sprach-, als auch für Datendienste geeignet und implementieren eine Reihe von Tele-, Träger- und Datendiensten.

Geräte nach PDO Spezifikation stellen nur optimierte, paketvermittelnde Datendienste bereit.

Solche Geräte, die im Direct Mode betriebe werden können, erlauben eine direkte Verbindung von Endgerät zu Endgerät, ohne Einbeziehung einer Basisstation, was insbesondere auch in Randgebieten von Funkzellen häufig sehr nützlich ist.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

- 4 TETRA – TETRAPOL – und andere
  - e. Ein Vergleich mit TETRAPOL

## Überblick:

Auch TETRAPOL ist ein digitales, zelluläres Bündelfunksystem, welches ebenfalls Sprach- und Datenübertragung ermöglicht. Entwickelt wurde das System von der französischen Firma „Matra“ (heute EADS) für Sicherheitsfunkanwendungen Ende der 80er Jahre. Dementsprechend wurde das System auch als erstes in Frankreich von der Gendarmerie eingesetzt. TETRAPOL bietet nahezu die gleichen Dienste an, wie TETRA. Im Gegensatz dazu ist TETRAPOL jedoch kein ETSI-Standard, wurde jedoch aus einem der zwei Vorschläge der ETSI weiterentwickelt (TETRA 12), nachdem man sich entschieden hatte den zweiten Vorschlag (TETRA 25) zum heutigen ETSI Standard TETRA zu machen. Mittlerweile gibt es über 80 Netze in 32 Ländern (Stand 03/06).

## Technologie:

Der große Unterschied zu TETRA liegt in der Technologie begründet. TETRAPOL benutzt als Kanalzugriffsverfahren FDMA bei einer Kanalkapazität von 12,5kHz. Bei beiden Systemen werden hingegen das gleiche Modulationsverfahren, sowie auch das Frequenzduplexverfahren angewendet. TETRAPOL ist im Frequenzbereich von 70-520 MHz einsetzbar. Ebenso wie bei TETRA auch, gibt es einen speziellen Träger, der als Kontrollkanal genutzt wird.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

- 4. TETRA – TETRAPOL – und andere
  - e. Ein Vergleich mit TETRAPOL

Vor- und Nachteile:

<b>Vorteile von TETRA</b>	<b>Vorteile von TETRAPOL</b>
Die Datenraten sind größer (bis Faktor 4)	Die Zellenradien sind kleiner (bis zu 30% bei gleicher Sendespitzenleistung)
Sprache und Daten können gleichzeitig übertragen werden	Gleichwellenfunk ist einfacher zu realisieren
Duplexbetrieb ist durch TDMA ohne Antennenweiche möglich	Gute Koexistenz mit bestehenden Systemen, durch 12,5 kHz Kanalbandbreite
TETRA ist ein anerkannter europäischer Standard (ETSI)	Geringere Sendespitzenleistungen
Bei TETRA wird die Sendeleistung des Endgerätes geregelt	Geringere Ausserbandaussendungen
Die Spektrumseffizienz ist größer (bis Faktor 2)	

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 4. TETRA – TETRAPOL – und andere

### f. Andere Systeme am Markt

Neben den beiden großen digitalen Bündelfunksystemen TETRA und TETRAPOL gibt es noch weitere Systeme im Bereich des Nicht-Öffentlichen Mobilfunks.

Von öffentlichen Mobilfunkbetreibern wird das GSM-Netz auch für den nicht öffentlichen Mobilfunk angeboten. Eine speziell für Behörden und Organisation mit Sicherheitsaufgaben (BOS) entwickelte GSM-Variante (GSM-BOS) steht derzeit zur Verfügung. Auch für die deutsche Bahn wurde ein spezielles System (GSM-R) entwickelt.

Des Weiteren gibt es z.B. noch den APCO25-Standard der jedoch in Europa keine Rolle spielt.

### g. Nicht öffentlicher Mobilfunk in Deutschland

Zurzeit gibt es gerade durch die Fußball-Weltmeisterschaft wieder eine rege Diskussion, für welches System sich Deutschlands Behörden und Sicherheitsorgane entscheiden werden. Die heutige Technik ist in den 50er Jahren eingeführt worden und entspricht in keinster Weise mehr den heutigen Sicherheitsbedürfnissen. Deutschland hat es bislang nicht einmal geschafft den analogen Bündelfunk einzuführen.

Für das digitale Kommunikationssystem standen drei Angebote zur Wahl. Neben TETRA und TETRAPOL gab es von Vodafone ein GSM-BOS Angebot. Deutschland hat sich für ein System nach dem TETRA-Standard entschieden. Neben einem Konsortium um Motorola und T-Systems hatte sich auch EADS um den Auftrag beworben und den Zuschlag erhalten.

Bei der Fußball-Weltmeisterschaft werden alle 12 Stadien, die Zentralen des Organisationskomitees, sowie das Medienzentrum von T-Systems mit dem TETRA-Standard ausgestattet und betrieben.



# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 5. Beispiele digitaler Kommunikationssysteme im ÖPNV

### a. RBL Berliner Verkehrsbetriebe – Betriebszweig Omnibus (TETRAPOL)

#### Überblick:

Die Berliner Verkehrsbetriebe haben bereits Mitte der 90er Jahre als eines der ersten Verkehrsunternehmen ein eigenes, digitales Bündelfunksystem eingesetzt. Das Unternehmen entschied sich zu dem Zeitpunkt für ein System nach dem TETRAPOL-Standard. Für diese Entscheidung waren damals folgende Gründe ausschlaggebend:

- Das TETRAPOL-System hatte bereits Marktreife erlangt.
- Der Standard erlaubte bereits damals eine Direct-Mode-Verbindung
- Das Konzept ging von einer zyklischen Abfrage(Polling) der Fahrzeugstandorte aus.

Heute bestehen alle diese Unterschiede zum TETRA-Standard nicht mehr. Für den Betriebszweig U-Bahn wurde 2001 z.B. ein TETRA-System eingeführt.

#### Systemarchitektur:

Aufgrund der neuartigen Technik, musste vor Errichtung des zellularen Systems eine Funkfeldmessung durchgeführt werden, um die Standorte der Basisstationen zu ermitteln. Nach dieser Messung wurden sechs Basisstationen errichtet, die den gesamten Bereich abdecken sollten. Jede dieser Basisstationen bietet sechs Duplexkanäle in einem Frequenzbereich von 440-450 MHz an. Mittlerweile sind weitere Basisstationen im Einsatz. Aufgrund des Kanalzugriffsverfahrens (FDMA) ist eine gleichzeitige Übertragung von Sprache und Daten nicht möglich. Daher wird der Sprache ein prinzipieller Vorrang gewährt. Heute werden Sprache und Daten fast gleichzeitig übertragen. Bei einem Wechsel der Funkzelle wurde die Verbindung unterbrochen. Auch dieses Problem ist heutzutage gelöst (Handover). Die Disposition der Buslinien erfolgt zentral, wobei die Basisstationen direkt mit der Zentrale verbunden sind.

#### Nutzung der Dienste:

Die Sprachkommunikation findet, wie im ÖPNV allgemein üblich, im Halbduplexbetrieb statt. Es stehen u.a. Einzel-, Gruppen-, Telefon- und Nahbereichsrufe zur Verfügung.

Jedes Endgerät besitzt eine eindeutige Adresse, wodurch eine Einzel-, als auch eine Gruppenadressierung möglich ist. Eine Gruppenzuweisung kann durch den Bordrechner, oder indirekt durch den Leitrechner in der Zentrale erfolgen. Bei der Datenkommunikation gibt es quittierende und nicht quittierende Dienste. Zu den nicht quittierenden Diensten zählen unter anderem die Übertragung von GPS-Positionsdaten, Statusmeldungen der Fahrzeuge, Zeitdaten für den Fahrgastanzeiger und im Direct-Mode-Betrieb die LSA-Beeinflussung. Zu den quittierenden Diensten auf Paketdatenbasis zählen z.B. Fahrplandatenübertragungen und freie Textmeldungen. Auch diese Daten werden adressiert. Die Adressierung erfolgt bei paketvermittelnden Diensten auf IP-Basis. Ansonsten ist die Übertragung unadressiert. Die Adresse ist Teil der Nutzdaten.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 5. Beispiele digitaler Kommunikationssysteme im ÖPNV

### a. RBL Berliner Verkehrsbetriebe – Betriebszweig Omnibus (TETRAPOL)

#### Migration des Systems:

Bei einem Verkehrsbetrieb muss die Umstellung des Kommunikationssystems während des laufenden Betriebs erfolgen. Zwar besitzt die Kommunikation keine sicherheitsrelevante Funktion, muss jedoch in bestimmtem Maße (gesetzlich) gewährleistet sein. Da analoge und digitale RBL nicht mit denselben Komponenten nutzbar sind, ist normalerweise der Austausch des gesamten RBL-Systems notwendig. In diesem Fall besaß die BVG noch kein System, weshalb nur die Funkinfrastruktur erneuert werden musste. Als Migrationskonzept wurde der Parallelbetrieb der Infrastruktur gewählt, da eine parallele Ausrüstung der Fahrzeuge vermieden werden sollte. Hierbei wurde zunächst die neue Digitalfunkinfrastruktur aufgebaut, dann erfolgte die schrittweise Umrüstung der Fahrzeuge und danach wurde die alte analoge Infrastruktur abgebaut. Eine weitere Folge der Umstellung war der Wechsel von der territorialen zur linienweisen Disposition.

#### Fazit:

Die Umstellung auf Digitalfunk macht sich heute bei den Berliner Verkehrsbetrieben durch bessere Sprachqualität, bessere Lastverteilung und vor allem durch die Datendienste, z.B. für dynamische Fahrgastinformationen an den Haltestellen, bemerkbar. Ebenso sind Notfalldienste, wie das Mithören und die GPS Ortung bereits bewährt. Im Jahre 2003 wurden weitere Sprach- und Datenkanäle nachgerüstet, um der erhöhten Sprach- und Datenübertragung Rechnung zu tragen.

### b. Pilotversuch RegioRBL Verkehrsverbund Oberelbe (TETRA)

#### Überblick:

Die regionalen Busunternehmen, die sich im Verkehrsverbund Oberelbe zusammengeschlossen haben, beschlossen ein verbundweites, einheitliches RBL (RegioRBL) aufzubauen.

Bei einem Pilotversuch im Jahre 2004 wurde unter anderem die Eignung des digitalen Bündelfunks für ein regionales RBL überprüft. Hierbei kam ein Bündelfunksystem nach dem TETRA-Standard zum Einsatz.

#### Systemarchitektur:

Während des Pilotversuchs wurden Funkfeldmessungen auf der Testlinie durchgeführt und ausgewertet. Später wurden zwei Basisstationen für den digitalen Bündelfunk aufgebaut und mittels einer dauerhaften Verbindung an die Zentrale gekoppelt. Die zwei Basisstationen zeigten eine gute Abdeckung der gesamten Linie, obwohl die Standorte nicht optimiert, sondern unter wirtschaftlichen Aspekten ausgesucht worden waren. Durch das TDMA Kanalzugriffsverfahren ist eine gleichzeitige Übertragung von Daten und Sprache grundsätzlich möglich.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 5. Beispiele digitaler Kommunikationssysteme im ÖPNV

### b. Pilotversuch RegioRBL Verkehrsverbund Oberelbe (TETRA)

#### Ablauf:

Während des Pilotversuchs waren die Fahrzeuge sowohl mit Analog-, als auch mit Digitalfunk ausgestattet.

Zunächst wurden nur einzelne Fahrten im RBL-Betrieb getestet, später wurden dann alle Fahrten der getesteten Linie über das digitale RBL gesteuert. Der Testbetrieb erstreckte sich fast über das gesamte Jahr 2004.

Im Testbetrieb wurden ausschließlich Kurzdatentelegramme zur Kommunikation verwendet, die vorher definiert waren. Das Datenvolumen der Telegramme wurde protokolliert und ausgewertet.

#### Erkenntnisse:

Die aus dem Pilotversuch gewonnenen Messergebnisse bestätigten die grundsätzliche Eignung des digitalen Bündelfunks als Kommunikationssystem. Die Auswertung des aufgezeichneten Datenvolumens ergab, dass das maximal mögliche Datenvolumen des Bündelfunks mehr als dreimal so hoch ist, wie das für den Vollbetrieb benötigte.

Für das Hauptprojekt wird jedoch eine weitere Optimierung der Standorte der Basisstationen aufgrund der Funkfeldmessungen nötig sein. Aufgrund des Pilotversuches wird mit einer Anzahl von 14 Basisstationen gerechnet.

Im städtischen Ballungsraum werden zwei aktive Träger, im ländlichen Raum ein aktiver Träger zur Abdeckung der parallel benötigten Zeitschlitze (TDMA) benötigt.

Eine ebenfalls gewünschte Übertragung von Referenz- bzw. Betriebsdaten ist nach der Auswertung bislang nicht möglich, da das digitale Bündelfunksystem nur eine relativ geringe Übertragungsrate anbietet. Eine vollständige Datenübertragung würde demnach ca. 25 Minuten dauern. Jedoch sind Differenzübertragungen z.B. von Fahrplandaten durchaus möglich.

#### Fazit:

Die durch den Pilotversuch gewonnenen Erkenntnisse zeigt sich die grundsätzliche Eignung digitaler Bündelfunksysteme auch für den Einsatz von größeren Gebieten.

Aufgrund dieser Tatsache wird sich der Verkehrsverbund Oberelbe wahrscheinlich für ein solches digitales Kommunikationssystem entscheiden, zumal durch das neue digitale RBL eine komplett rechnergesteuerte Disposition der Linien möglich ist.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## 6. Fazit und Ausblick

Digitale Systeme haben sich mittlerweile auch im nicht öffentlichen Mobilfunk etabliert und gewinnen immer mehr an Bedeutung. Dies wird auch durch das Umsatzvolumen von mehreren Milliarden Euro bestätigt. In vielen Ländern Europas sind schon seit Jahren digitale Bündelfunknetze bei den verschiedensten Organisationen im Einsatz. Durch den heutigen Stand der Technik sind auch erweiterte Datendienste und hohe Übertragungsraten kein Problem mehr. Ob es jedoch eine Durchdringung des Marktes von öffentlichem und nicht öffentlichem Mobilfunk geben wird, bleibt abzuwarten. Auch ist bis heute kein eindeutiger Trend auszumachen, welcher Standard, TETRA oder TETRAPOL, sich evtl. als alleiniger Standard wird etablieren können. Hierbei ist TETRA jedoch im Vorteil zu sehen, da es weltweit mehr als zehnmal so viele Netze gibt. Auch in Europa geht der Trend bei den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben in Richtung TETRA. Die GSM-Alternative der öffentlichen Mobilfunkbetreiber wird bislang nur in Einzelfällen angewendet.

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## Anhang

### A) Verzeichnis der Abkürzungen

APCO	Association of Public-Safety Communications Officials
ASK	Amplitude Shift Keying
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe
CB	Citizen Band
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex
CT	→DECT
DAB	Digital Audio Broadcast
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DVB	Digital Video Broadcast
EADS	European Aeronautic Defense and Space Company
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FSK	→GFSK
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System of Mobile communication
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IP	Internet Protocol
LSA	Licht Signal Anlage
ÖPNV	Öffentlicher Personen Nahverkehr
PSK	→DQPSK
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	→DQPSK
RBL	Rechnergestütztes Betriebsleitsystem
RDS	Radio Data System
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TMC	Traffic Message Channel
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VVO	Verkehrsverbund Oberelbe
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
W-LAN	Wireless Local Area Network

# Kommunikationssysteme im ÖPNV

## Anhang

### B) Literaturverzeichnis

- Bäumer, Klaus. 2004. Digitaler Betriebs- und Bündelfunk. Bonn. Publikation der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. Newsletter 04/04. Bonn.  
[http://www.fgf.de/fup/publikat/news\\_einzel/NL\\_04-04/DigitalerBuendelfunk\\_04-04d.pdf](http://www.fgf.de/fup/publikat/news_einzel/NL_04-04/DigitalerBuendelfunk_04-04d.pdf). Zugriff am: 13.03.06.
- Bundesamt für Kommunikation der Schweizerischen Eidgenossenschaft. 2005. Faktenblatt TETRA. Biel.  
<http://www.bakom.ch/themen/technologie/01219/index.html?lang=de>. Zugriff am: 13.03.06.
2005. Faktenblatt TETRAPOL. Biel.  
<http://www.bakom.ch/themen/technologie/01220/index.html?lang=de>. Zugriff am 13.03.06.
- Bundesnetzagentur Deutschland. 2006. Übersicht Nicht öffentlicher Mobilfunk. Berlin.  
[http://www.bundesnetzagentur.de/enid/8ad5afe5c1fe2bb560c6671f3b7e471e.d0d2d85f7472636964092d0936333139/Frequenzordnung/Nichtoeffentlicher\\_Mobilfunk\\_dr.html](http://www.bundesnetzagentur.de/enid/8ad5afe5c1fe2bb560c6671f3b7e471e.d0d2d85f7472636964092d0936333139/Frequenzordnung/Nichtoeffentlicher_Mobilfunk_dr.html). Zugriff am: 27.03.06
- Gray, Doug. 2004. TETRA und TETRAPOL im Vergleich. Woltersdorf. Artikel der Zeitung „Net“. Heft 09/04. Woltersdorf.  
[http://www.net-im-web.de/pdf/2004\\_09s13.pdf](http://www.net-im-web.de/pdf/2004_09s13.pdf). Zugriff am: 13.03.06
- Heise-Mobil. 2006. Bundesregierung hält an Bundesanstalt für Digitalfunk fest. Hannover.  
<http://www.heise.de/mobil/result.xhtml?url=/mobil/newsticker/meldung/69656&words=TETRA>. Zugriff am: 13.03.06
- IT-Portal.org. 2006. Bilder für ASK,FSK,PSK. Bremen.  
<http://www.it-portal.org/netzwerk/richtfunk/richtfunk.html>. Zugriff am: 01.04.06
- Meyer, Martin. 2002. Kommunikationstechnik. Hausen b. Brugg. Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden.
- Preusker, M. 2005. Mobile Radio goes digital – Neue Kommunikationssysteme im ÖPNV. Dresden. 20.Verkehrswissenschaftliche Tage Dresden. Dresden.
- Siemens Kommunikationslexikon. 2005. München.  
[http://networks.siemens.de/solutionprovider/online\\_lexikon/4/f001574.htm](http://networks.siemens.de/solutionprovider/online_lexikon/4/f001574.htm). Zugriff am: 27.03.06
- TETRA-Association. 2006. Offizielle Seite der TETRA-Association  
<http://www.tetramou.com>. Zugriff am: 13.03.06
- TETRAPOL-Technologie. 2006. Offizielle TETRAPOL-Seite  
<http://www.tetrapol.com>. Zugriff am: 08.04.06
- T-Systems. 2006. TETRA bei der WM in Deutschland. Frankfurt am Main. Pressemeldung. Frankfurt am Main.  
<http://www.t-systems.de/de/Startseite/PresseAnalysten/PresseCenter/id=151584.html>. Zugriff am: 02.04.06.
- Wikipedia.org. 2006. Bilder für FDMA, TDMA. St.Petersburg, USA  
<http://de.wikipedia.org/wiki/FDMA>. Zugriff am: 01.04.06
- Winkler, Axel. 2005. Innovative Informatik- und Kommunikationstechnologien auf Betriebshöfen des Nahverkehrs. Berlin. 20.Verkehrswissenschaftliche Tage Dresden. Dresden.