



Seminar Verkehrsinformatik
SS 2006

„Kommunikationssysteme
im ÖPNV“

Christoph Schreiber – ii5947

1. Kommunikationssysteme im ÖPNV – Stand der Dinge
2. Öffentlicher Mobilfunk vs. Nicht öffentlicher Mobilfunk
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) Berliner Verkehrsbetriebe
 - b) Verkehrsverbund Oberelbe
6. Fazit und Ausblick

1. Kommunikationssysteme im ÖPNV – Stand der Dinge

Analogtechnik vorherrschend – im Gegensatz zum öffentlichen Mobilfunk

- In den 90er Jahren wurden RBL in Analogtechnik erworben → Bindung durch Fördermittel
- hohe Investitionen erforderlich
- Für die Nutzung von öffentlichem Mobilfunk fehlten lange Zeit geeignete Datendienste
- Migration muss im laufenden Betrieb erfolgen

Um die Attraktivität und die Wirtschaftlichkeit zu steigern, sind **digitale** Kommunikationssysteme eine wichtige Grundlage.

- E-Ticketing
- Automatische Anschlusssicherung
- Dynamische Fahrgastinformationen
- ...

2. Öffentlicher Funk vs. Nicht öffentlicher Funk

Der öffentliche Mobilfunk ist im Gegensatz zum nicht öffentlichen Mobilfunk für jedermann zugänglich

Übersicht über Mobilkommunikation:

- Öffentlicher Mobilfunk: GSM, UMTS, W-LAN, CT, DECT
- Nicht Öffentlicher Mobilfunk: Bündelfunk, TETRA, TETRAPOL, CB-Funk
- Satellitensysteme: GPS, Inmarsat, Galileo, (Iridium)
- Broadcastsysteme: RDS, TMC, DVB, DAB
- Nahbereichsverbindungen: Infrarot, Bluetooth

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 | 1,9-2,2 GHz | 5MHz | <384kBit/s <2MBit/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) |

3. Analoger Funk vs. Digitaler Funk

Ansprüche an ein Kommunikationssystem:

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

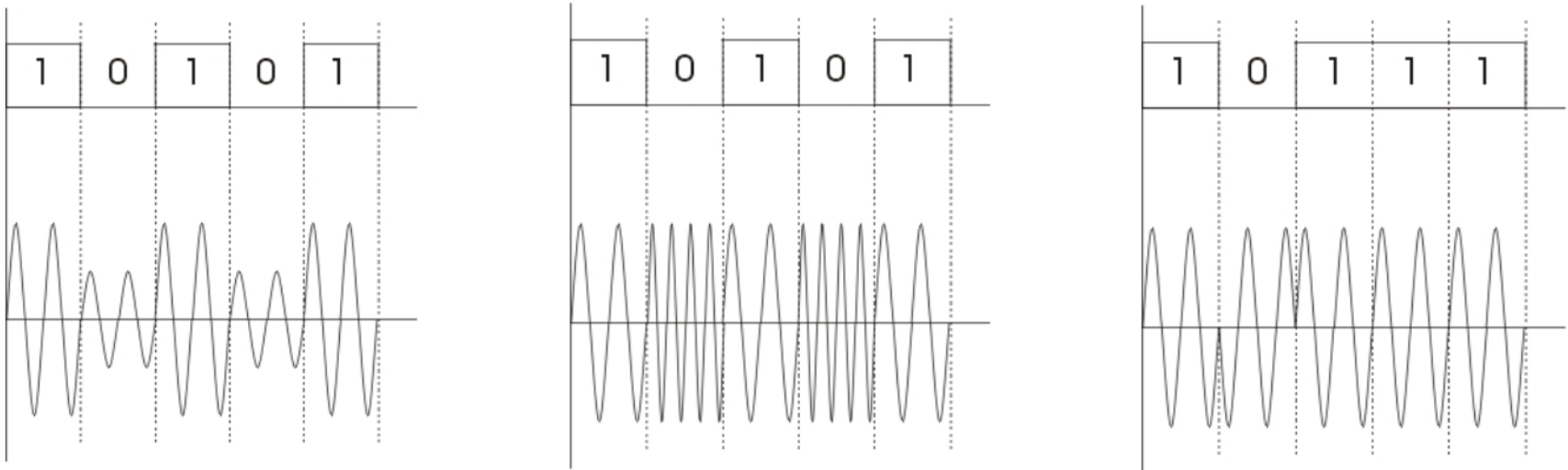
Es ist unmöglich, alle Kriterien gleichzeitig maximal gut zu erfüllen, denn die Ansprüche können auch von einander abhängen

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

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

a) 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)



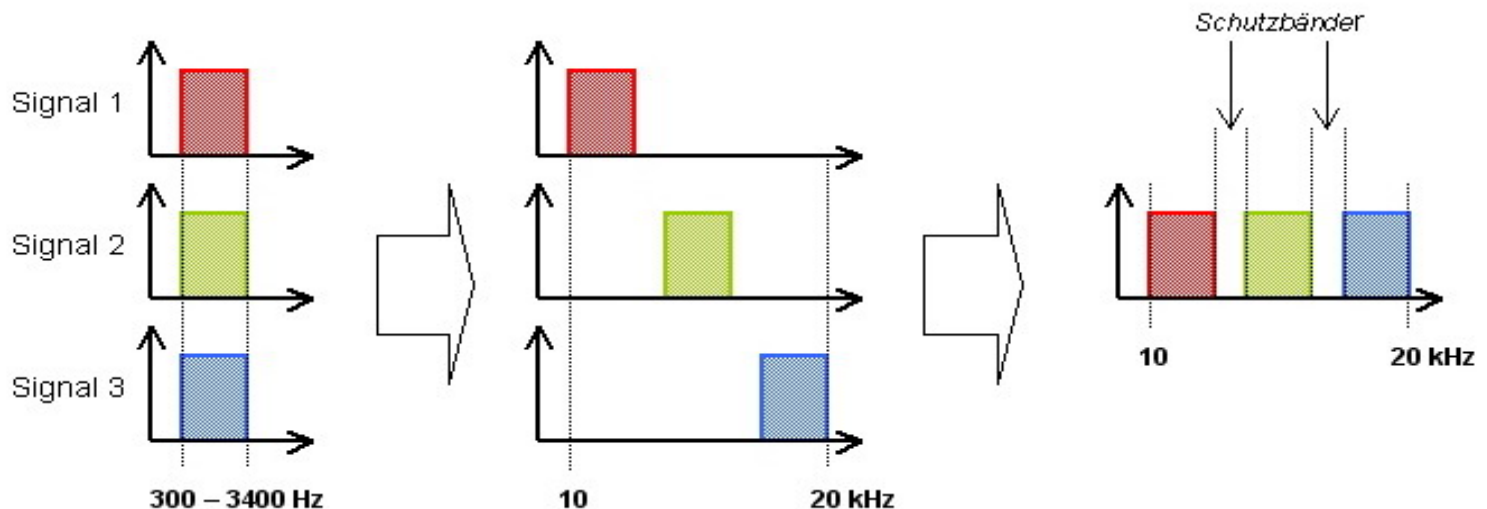
4. TETRA – TETRAPOL – und andere

b) FDMA – TDMA Frequenzmultiplex – Zeitmultiplex

FDMA: Beim Frequenz-Multiplex-Verfahren werden mehrere Signale auf unterschiedliche Frequenzen moduliert und parallel übertragen.

Bsp.:

- Rundfunk
- Telefon



4. TETRA – TETRAPOL – und andere

b) FDMA – TDMA Frequenzmultiplex – Zeitmultiplex

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

Synchron:

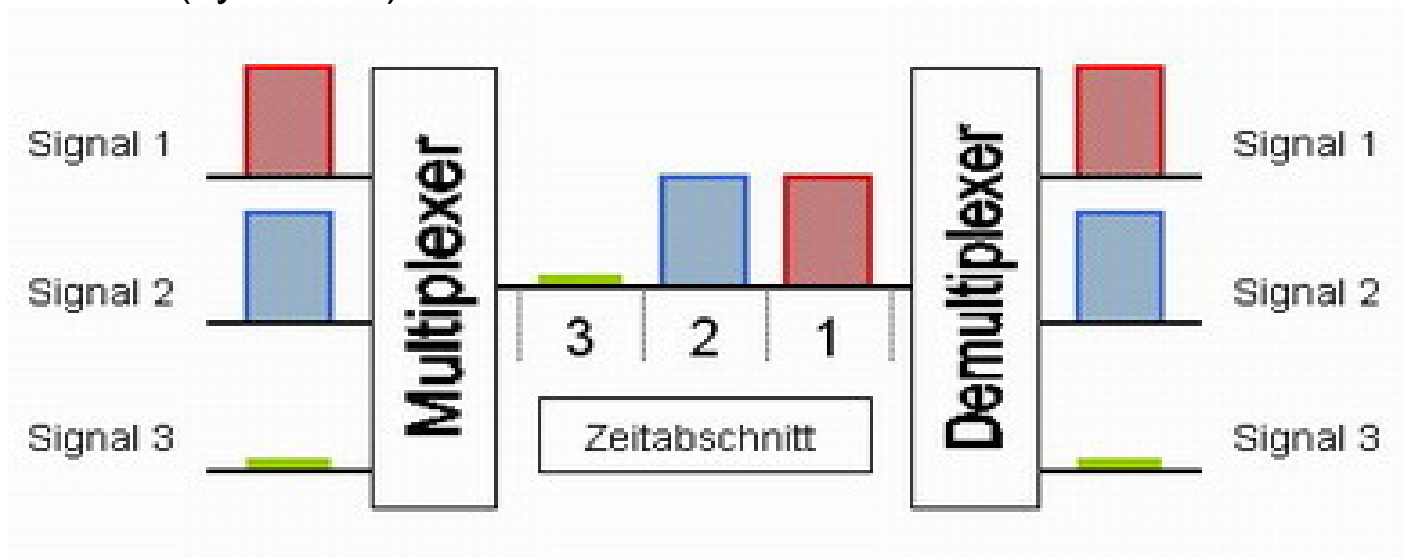
- Jeder Sender bekommt einen festen Zeitabschnitt
- Konstante Datenrate
- Einfaches Demultiplexing

- Zeitabschnitte können ungenutzt bleiben

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

b) FDMA – TDMA Frequenzmultiplex – Zeitmultiplex

TDMA (synchron):



4. TETRA – TETRAPOL – und andere

b) FDMA – TDMA Frequenzmultiplex – Zeitmultiplex

TDMA:

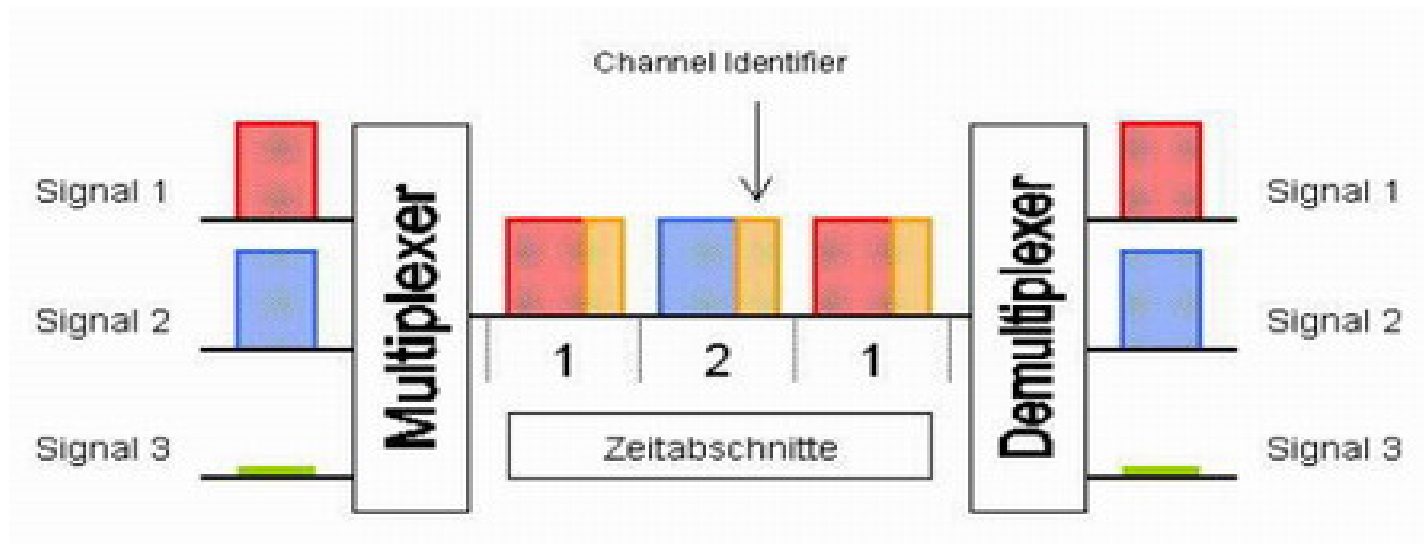
Asynchron:

- Bedarfsgerechte Zuweisung von Kanälen
- Optimale Auslastung des Übertragungskanals
- Zusätzliche Information zur Identifizierung nötig → größere Pakete
- Größerer Aufwand beim Demultiplexer

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

b) FDMA – TDMA Frequenzmultiplex – Zeitmultiplex

TDMA (asynchron):



4. TETRA – TETRAPOL – und andere

c) Was ist Bündelfunk?

Bündelfunk ist eine technisch verbesserte Realisierung des Betriebsfunks

Bündelfunksysteme sind lizenzpflichtig

Anwender sind geschlossene Benutzergruppen, wie z.B.

- Transportunternehmen
- Flughäfen
- Energieunternehmen
- Sicherheitsorgane (BOS)

Anfang der 90er Jahre wurde von der ETSI ein Standard für digitalen Bündelfunk entwickelt

2 Vorschläge



TETRA

(ETSI-Standard)



TETRAPOL

(EADS)

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

c) Was ist Bündelfunk?

Vergleich Mobilfunk – Bündelfunk:

| Mobilfunk | Bündelfunk |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| Große Anzahl Teilnehmer | Kleine Anzahl Teilnehmer |
| Wechselnde Verbindungsteilnehmer | Häufig gleiche Verbindungsteilnehmer |
| Langer Verbindungsaufbau | Sehr kurzer Verbindungsaufbau |
| Kurze und lange Gespräche | Überwiegende kurze Gespräche |
| Tarifsystem gewinnmaximierend | Tarifsystem kostenorientiert |
| Fix + Variable Kosten | Fixkosten |
| Bedarfsweckendes Angebot | Bedarfsdeckendes Angebot |

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

c) Was ist Bündelfunk?

Auswahl an angebotenen Diensten im digitalen Bündelfunk:

| Teledienste | Trägerdienste(Datendienste) | Zusatzdienste |
|-------------------------------------|---|----------------------|
| 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 | | |

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

c) Was ist Bündelfunk?

Vorteile des digitalen Bündelfunk:

- Sehr gute Frequenzökonomie
- Gute Übertragungsqualität
- Hohe Abhörsicherheit
- Flexibles Netz- und Verbindungsmanagement
- Handover und Roaming möglich
- Gateways zu anderen Kommunikationsdiensten

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

d) Was ist TETRA?

TETRA ist ein digitales, zellulARES Bündelfunksystem

Der TETRA-Standard wurde von der ETSI erarbeitet und 1995 in einer ersten Version standardisiert

Zur Zeit gibt es weltweit 788 Netze in 77 Ländern (Stand: 10/05)

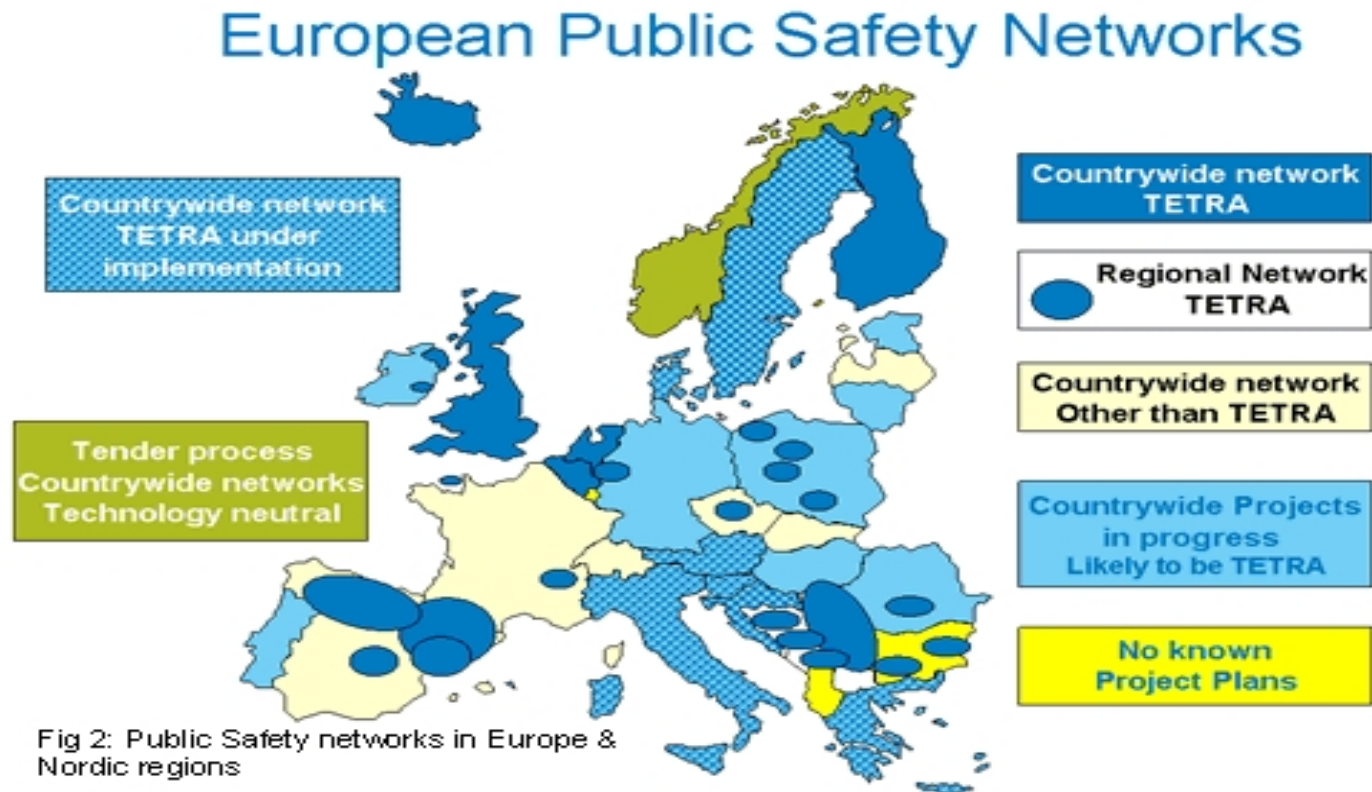
In vielen europäischen Ländern ist TETRA der Standard für die öffentlichen Sicherheitsorgane, wie z.B. Großbritannien, Niederlande, Belgien, Finnland

In vielen europäischen Ländern ist ein TETRA-Netz im Aufbau, wie z.B. Schweden, Dänemark, Österreich, Italien

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

d) Was ist TETRA?

Überblick über Europa:



4. TETRA – TETRAPOL – und andere

d) Was ist TETRA?

Technologie:

- Kanalzugriffsverfahren ist TDMA
- Es werden 4 Zeitschlitze verwendet
- Zeitschlitze können zusammengelegt werden
- Gleichzeitige Übertragung von Sprache und Daten ist möglich
- Synchronisation mit der Basisstation über einen Kontrollkanal
- Übertragungsrate von 28,8 kBit/s mit DQPSK in Release 1
- Übertragungsrate bis zu 538 kBit/s mit 64-QAM in Release 2
- Sendeleistung der Endgeräte wird über die Basisstation geregelt
- Anwendung des Frequenzduplexverfahrens
- Es gibt 3 Einzelstandards für unterschiedliche Anwendungen
 - Voice + Data
 - Packed Data Optimized
 - Direct Mode

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

e) Ein Vergleich mit TETRAPOL

TETRAPOL ist ein digitales, zellulares Bündelfunksystem

TETRAPOL wurde von der EADS (vormals: Matra) entwickelt

Wurde aus einem Vorschlag der ETSI weiterentwickelt, ist jedoch kein Standard

Es bietet nahezu die gleichen Dienste an, wie TETRA

Es gibt über 80 Netze in 32 Ländern (Stand: 03/06)

Der Unterschied zu TETRA liegt in der Technologie

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

e) Ein Vergleich mit TETRAPOL

Vor- und Nachteile:

| Vorteile von TETRA | Vorteile von TETRAPOL |
|--|--|
| 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) | |

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

f) Andere Systeme am Markt

- GSM-BOS

entwickelt für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

- GSM-R

entwickelt für die deutsche Bahn

APCO25-Standard

4. TETRA – TETRAPOL – und andere

g) Nicht öffentlicher Mobilfunk in Deutschland

Die eingesetzte Technik ist ca. 50 Jahre alt

Es gibt nicht einmal analogen Bündelfunk für BOS

Deutschland hat sich für ein TETRA-System entschieden

EADS wird das System liefern

Bei der Fußball-WM wird T-Systems die Stadien, das Medienzentrum, sowie die Zentrale des OK mit einem TETRA-System ausstatten und betreiben

5. Beispiele digitaler Kommunikationssysteme im ÖPNV

a) Berliner Verkehrsbetriebe – Betriebszweig Omnibus (TETRAPOL-Standard)

Überblick, Systemarchitektur, Dienste:

- Mitte der 90er Jahre Planung eines eigenen, digitalen Bündelfunksystems
- Entscheidung für ein TETRAPOL-System
- Vor Einführung wurden Funkfeldmessungen durchgeführt
- Jede Basisstation bietet 6 Duplexkanäle im Bereich von 440-450 MHz an
- Sprache besitzt Vorrang vor Daten
- Basisstationen sind direkt mit der Zentrale verbunden
- Sprachkommunikation im Halbduplexbetrieb
- Jedes Endgerät besitzt eine eindeutige Adresse
- Daten: GPS-Daten, Statusmeldungen, Fahrplandaten, freie Textmeldungen

5. Beispiele digitaler Kommunikationssysteme im ÖPNV

- a) Berliner Verkehrsbetriebe – Betriebszweig Omnibus
(TETRAPOL-Standard)

Migration, Fazit:

- Umstellung muss während des laufenden Betriebs erfolgen
- Analoge und digitale RBL sind nicht mit den gleichen Komponenten nutzbar
- Aufbau einer neuen Funkinfrastruktur
- Migrationskonzept: Parallelbetrieb der Infrastruktur

- Bessere Sprachqualität
- Bessere Lastverteilung
- Datendienste z.B. für dynamische Fahrgastinformationen
- Notfalldienste haben sich bewährt

5. Beispiele digitaler Kommunikationssysteme im ÖPNV

b) Pilotversuch des Verkehrsverbund Oberelbe (TETRA)

Überblick, Systemarchitektur, Ablauf:

- Aufbau eines einheitlichen, regionalen RBL
- Überprüfung der Eignung von digitalem Bündelfunk
- Durchführung von Funkfeldmessungen
- 2 Basisstationen zur Abdeckung der Testlinie
- Basisstationen sind direkt mit der Zentrale verbunden
- Ausrüstung der Fahrzeuge mit Analog- und Digitalfunk während der Testphase
- Ausschließlich Kurzdatentelegramme zur Kommunikation
- Datenvolumen wird protokolliert

5. Beispiele digitaler Kommunikationssysteme im ÖPNV

b) Pilotversuch des Verkehrsverbund Oberelbe (TETRA)

Erkenntnisse, Fazit:

- Messergebnisse bestätigen die Eignung von digitalem Bündelfunk
- Das mögliche Datenvolumen ist dreimal so hoch, wie das benötigte
- Optimierung der Standorte aufgrund der Funkfeldmessungen
- Vermutliche 14 Basisstationen im späteren Betrieb
- im städtischen Raum zwei aktive Träger, im ländlichen Raum einer
- Übertragung von Betriebsdaten wegen der geringen Übertragungsrate nicht möglich.
- Differenzübertragung von Fahrplandaten möglich

- Eignung von Bündelfunk auch für größere Gebiete
- Auf Grundlage des digitalen Kommunikationssystems komplett rechnergestützte Disposition der Linien möglich

6. Fazit und Ausblick

- Digitale Systeme etablieren sich auch im nicht öffentlichen Mobilfunk
- In vielen Ländern Europas sind schon seit Jahren digitale Bündelfunknetze bei den verschiedensten Organisationen im Einsatz
- Heutiger Stand der Technik erlaubt hohe Datenraten und komplexe Datendienste
- Kein eindeutiger Trend zwischen TETRA und TETRAPOL
- TETRA jedoch im Vorteil und vermehrt in Europa im Einsatz
- Die GSM-Alternative wird bislang nur in Einzelfällen angewendet